



Nr B 2398

November 2020

Emissionsfaktorer för bränslen till el- och värmeproduktion

Nathalie Fransson
Mattias Lundblad
Ambjörn Lätt



I samarbete Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)

Författare: Nathalie Fransson (IVL), Mattias Lundblad (SLU), Ambjörn Lätt (IVL)
Medel från: Stiftelsen IVL, Energiföretagen Sverige och Stiftelsen Svensk Torvforskning
Rapportnummer B 2398
ISBN 978-91-7883-224-8
Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2020**
IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Projektet *Emissionsfaktorer för bränslen till el- och värmeproduktion* möter ett behov av att kunna utvärdera olika bränslen utifrån deras emissionsfaktor (växthusgasutsläpp redovisade i CO₂-ekvivalenter) och primärenergifaktor för en bransch som är med och driver energiomställningen. För biogas, HVO, RME och energitorv till el- och fjärrvärmeproduktion tas i projektet aktuella emissionsfaktorer och primärenergifaktorer för svenska förhållanden. Projektet analyserar även möjligheten att kompensera utsläpp från produktion och förbränning av energitorv genom olika åtgärder för att minska utsläpp som sker från dränerade torvmarker. På grund av pågående diskussioner i branschen gällande miljövärdering av rökgaskondensering har det också varit av intresse att beskriva tänkbara synsätt för detta.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Raziye Khodayari (Energiföretagen Sverige), Åsa Lindqvist (Göteborg Energi), Jan Burvall, Sylvia Jonsson och Ingrid Kyllerstedt (Stiftelsen Svensk Torvforskning), Mikael Norberg (E.ON och Stiftelsen Svensk Torvforskning). Författarna vill tacka referensgruppen för goda inspel och diskussioner under projektet. Även tack till Lars Zetterberg (IVL) och Anders Hjort (IVL) för bidragande vägledning genom projektet och Sabine Jordan (SLU) som har varit med granskat rapporten.

Projektet är samfinansierat av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Stiftelsen Svensk Torvforskning, TorvForsk, samt Stiftelsen IVL.

Stockholm 2020-10-23

Innehållsförteckning

Emissionsfaktorer för bränslen till el- och värmeproduktion. **Error! Bookmark not defined.**

Sammanfattning.....	6
Summary	8
1 Inledning	10
1.1 Syfte och mål	10
2 Metod	11
2.1 Global warming potential	11
3 Emissionsfaktorer för bränslen.....	12
3.1 Hydrerad vegetabilisk olja (HVO).....	12
3.1.1 HVO från slaktavfall	14
3.1.2 HVO från tallolja	14
3.1.3 HVO från Used Cooking Oil (UCO)	14
3.1.4 HVO från rapsolja.....	15
3.1.5 Användning av HVO i el- och värmeproduktion	15
3.2 Rapsmetylester (RME)	16
3.2.1 Användning av RME i el- och värmeproduktion.....	17
3.3 Biogas.....	18
3.3.1 Inhemskt producerad biogas från avloppsslam vid reningsverk och industriellt avloppsvatten.....	20
3.3.2 Inhemskt producerad rågas från gödsel vid gårdsanläggningar	20
3.3.3 Importerad biogas via gasnätet.....	21
3.3.4 Uppskattning av svenskt genomsnitt	22
3.3.5 Användning av biogas i el- och värmeproduktion	24
4 Emissionsfaktorer för torv och kompensationsåtgärder.....	25
4.1 Nettoutsläpp av växthusgaser för energitorv.....	26
4.1.1 Tidsperspektivet	27
4.1.2 Antaganden vid beräkningar av nettoutsläpp.....	27
4.1.3 25-årsperspektiv	29
4.1.4 100-årsperspektiv	31
4.2 Kompensationsåtgärder	34
4.2.1 Klimatkompensation.....	34
4.2.2 Kompensation av utsläpp från produktion och förbränning av energitorv ...	35
4.2.3 Resultat och diskussion	39
4.2.4 Utsläppsrätter och reduktionsenheter från inhemska projekt	43

5	Rökgaskondensering.....	44
5.1	Bokföringsperspektivet.....	46
5.2	Konsekvensperspektivet.....	46
	Referenser.....	47

Sammanfattning

Emissionsfaktorer för bränslen till el- och värmeproduktion har tagit fram uppdaterade och aktuella emissionsfaktorer för växthusgasutsläpp och primärenergifaktorer för bränslen som används till el- och fjärrvärmeproduktion för svenska förhållanden. Emissionsfaktorerna redovisas i g koldioxidekvivalenter per MJ bränsle samt primärenergi som MJ per MJ bränsle. Resultaten baseras på redan publicerade data och har valts ut för att vara tillförlitliga för Värmemarknadskommitténs ändamål med hjälp av uppsatta kriterier i Miljöfaktaboken 2011 (Gode et al., 2011) och beskriver den totala klimatpåverkan från bränslenas livscyklar. Studien omfattar biogas, HVO, RME och torv. För HVO, RME och biogas redovisas emissionsfaktorer uppdelade på utsläpp från energiomvandling respektive utsläpp från produktion och distribution av bränslet i Tabell 1.

Tabell 1: Sammanfattning av primärenergi- och emissionsfaktorer

Bränsle	Primärenergi [MJ/MJ]	Produktion & distribution [g CO ₂ -eq/MJ]	Användning [g CO ₂ -eq/MJ] ³
HVO - Slaktavfall	4,58E-01	3,15E+01	2,04E-01
HVO - Used cooking oil	1,43E-01	1,18E+01	2,04E-01
HVO – Rapsolja	1,54E+00	6,08E+01	2,04E-01
HVO – Tallolja	2,01E-01	5,29E+00	2,04E-01
RME	1,27E+00	2,38E+01	2,93E+00
Biogas - uppskattning av svenskt genomsnitt ¹	0,16E+00	6,03E+00	5,48E-02
		Nettoutsläpp från hela livscykeln [g CO ₂ -eq/MJ]	
Torv ²	1,002–1,02E+00	9,52–11,61E+01	

¹Baserat på följande ursprung av biogas; 47,6% från reningsverk och industri, 4,6% från gårdsanläggningar och 47,7% importerad via gasnätet.

²Se metodbeskrivning nedan

³Utsläppen beror av metan och lustgas

För torv tillämpas istället metoden i *Granskning av torvens emissionfaktor i Värmemarknadskommitténs rekommendationer* (Zetterberg, 2016) där torvens nettoutsläpp från hela livscykeln beräknas utifrån olika förutsättningar. Nettoutsläpp av torv till energiomvandling visar på ett spann av växthusgasutsläpp baserat på vilken typ av mark som tas i bruk, efterbehandling av marken samt val av tidsperspektiv. Lägst nettoutsläpp av de beräknade scenarierna fås i ett 100-årsperspektiv vid skörd av torv från en näringsrik väl-dränerad skogsmark utan skog som sedan beskogas (95,2 g CO₂-eq/MJ) och högst nettoutsläpp fås i ett 25-årsperspektiv vid skörd av torv från en näringsrik väl-dränerad skogsmark med skog (116,1 g CO₂-eq/MJ). Primärenergifaktorn för torv är beräknad till 1,002–1,02 MJ/MJ torv (beroende på ursprunget av HVO som insatsbränsle).

Projektet har även analyserat möjligheten att kompensera utsläpp från skörd, distribution och förbränning av energitorv genom olika åtgärder för att minska utsläpp som sker från dränerade torvmarker. Effekten av återvätning av dränerade torvmarker varierar mellan en minskning med drygt 30 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år om jordbruksmark återväts till sjöliknande förhållanden och en ökning av utsläppen med drygt 7 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år om beskogad näringsrik torvmark med skog återväts till våtmarksliknande förhållanden. Detta innebär också att den åtgärdsareal som behövs för att kompensera årliga utsläpp för produktion och användning av energitorv skördad på en ha varierar stort. Dels beror det på vilka utsläpp skörden och användningen av energitorv ger upphov till men framför allt vilken typ av åtgärd som tillämpas. Den minsta arealen som krävs är 1,2–1,4 ha om åtgärden är att återvåta tidigare jordbruksmark till sjöliknande förhållanden för att kompensera för utsläpp som uppstått då torv skördats från näringsrik torvmark utan skog. För andra markexempel och åtgärder kan arealen som behövs för att kompensera utsläppen uppgå till 200 ha.

Utöver detta har en beskrivning över tänkbara synsätt för miljövärdering av rökgaskondensering tagits fram. Två olika synsätt lyfts fram, det ena ett bokföringsperspektiv och det andra ett konsekvensperspektiv.

Summary

The project *Emission factor for fuels used in power- and heat production* has provided updated and current emission factors for greenhouse gas emissions and primary energy factors for fuels used in power- and heat production in Sweden. The emission factors are reported in g carbon dioxide equivalent per MJ of fuel and primary energy is reported as MJ per MJ fuel. The results are based on previously published data and have been selected according to predefined criteria (Gode et al., 2011) to best suit the purpose of the Swedish heating market committee and describe the climate impact of the fuels from a life cycle perspective. The project includes biogas, HVO, RME and peat. For HVO, RME and biogas the emission factors are reported divided by emissions from production & distribution and emissions from usage (energy transitioning). The results are summarized in Table 2.

Tabell 2: Summary of primary energy factor and emission factor

Fuel	Primary energy factor [MJ/MJ]	Production & distribution [g CO ₂ -eq/MJ]	Usage [g CO ₂ -eq/MJ] ³
HVO – Slaughterhouse waste	4,58E-01	3,15E+01	2,04E-01
HVO - Used cooking oil	1,43E-01	1,18E+01	2,04E-01
HVO – Rapeseed oil	1,54E+00	6,08E+01	2,04E-01
HVO – Tall oil	2,01E-01	5,29E+00	2,04E-01
RME	1,27E+00	2,38E+01	2,93E+00
Biogas – estimation of a Swedish average ¹	0,16E+00	6,03E+00	5,48E-02
		Net emissions from life cycle [g CO ₂ -eq/MJ]	
Peat ²	1,002–1,02E+00	9,52–11,61E+01	

¹Based on the following origin of biogas; 47,6% from treatment plants and industry, 4,6% from farms and 47,7% imported via the gas grid.

²See description of method below

³Emissions from methane and nitrous oxide

For peat the method established in *Granskning av torvens emissionfaktor i Värmemarknadskommitténs rekommendationer* (Zetterberg, 2016) where the net emissions from peat during the life cycle is calculated based on various prerequisites. Net emissions of peat are displayed as an interval as the life cycle emissions depend on what type of peat soil is used for production, aftertreatment of the land and the time period assumed in the calculations. The lowest net emissions out of the calculated scenarios is based on a 100-year time period where peat is harvested from a nutritious and drained peat soil without forest production where forest is introduced as aftertreatment (95,2 g CO_{2-eq}/MJ). The highest net emissions of the calculated scenarios is calculated for a 25-year perspective when peat is harvested from a nutritious and drained peat soil with forest production (116,1 g CO_{2-eq}/MJ). The primary energy factor for peat is calculated at 1,002-1,02 MJ/MJ (depending on the origin of the HVO used as fuel for machines and transport).

The project has analysed the possibility to compensate emissions from production and combustion of peat through various compensation measured that reduced emissions from other drained peat soils. The potential of rewetting drained peat soil varies from a reduction of emissions with approximately 30 tonnes CO₂-equivalent per hectare and year if farmland is rewetted into sea conditions, to an increase in emissions of approximately 7 tonnes CO₂-equivalent per hectare and year if nutritious peat soil with forest production is rewetted into sea conditions.

This means that the compensation area necessary to compensate for yearly emissions arising due to harvesting, distribution and combustion of peat produced from one hectare, varies greatly. Partly the variation depends on which emissions the harvest and combustion of peat produces but mostly it depends on the type of compensation measure implemented. To compensate for yearly emissions from peat produced by a hectare of nutritious, drained soil without forest, approximately 1.2-1.4 hectares of farmland that is rewetted into sea conditions is needed. Other type of peat soils and conditions are calculated to require 200 hectares to be used as compensation measure for peat produced by one hectare.

Moreover, the project has described possible ways to view the environmental assessment of flue gas condensation. Two viewpoints were highlighted, one being from an attributional perspective and the other from a consequential perspective.

1 Inledning

För framtagna emissionsfaktorer för växthusgasutsläpp i denna rapport beskrivs kortfattat gällande antaganden för redovisade data och hänvisning till använda källor samt resultatet. Emissionsfaktorerna redovisas i g koldioxidekvivalenter per MJ bränsle samt primärenergi som MJ per MJ bränsle. För HVO, RME och biogas redovisas emissionsfaktorn uppdelat på utsläpp från energiomvandling respektive utsläpp från produktion och distribution av bränslet. Denna uppdelning av emissionsfaktorn följer metoden i Miljöfaktaboken (Gode, et al., 2011) som tillämpas i detta projekt. Utsläppen av koldioxid från energiomvandling av dessa bränslen är noll enligt förnybarhetsdirektivet medan utsläpp av metan och lustgas inkluderas i emissionsfaktorn. I dag är användningen av RME till el- och värmeproduktion väldigt låg och användningen av HVO marginell. Bioolja till el- och värmeproduktion är framför allt tall- och bekolja och Mixed Fatty Acid (MFA) (Energimyndigheten, 2020)

För torv tillämpas metoden i Granskning av torvens emissionfaktor i Värmemarknadskommitténs rekommendationer (Zetterberg, 2016) där torvens nettoutsläpp från ett livscykelperspektiv beräknas utifrån olika förutsättningar. Möjligheten att kompensera utsläpp från skörd, distribution och förbränning av energitorv genom olika åtgärder för att minska utsläpp som sker från dränerade torvmarker har analyserats genom att uppskatta arealbehovet.

För rökgaskondensering i denna rapport förs olika resonemang grundade i LCA-metodik kring hur energi från rökgaskondensering skulle kunna miljövärderas, inga beräkningar genomförs.

1.1 Syfte och mål

Projektets syfte är uppdelat i tre delar;

1. Ta fram aktuella och tillförlitliga emissionsfaktorer (växthusgaser) och primärenergifaktorer för bränslen som används till el- och fjärrvärmeproduktion. Emissionsfaktorer och primärenergifaktorer ska gälla för svenska förhållanden och inkluderar utsläpp som sker uppströms i livscykeln för följande bränslen:
 - Bioolja
 - HVO
 - RME
 - Biogas
 - Torv

2. Analysera möjligheten att kompensera utsläpp av växthusgaser från produktion och förbränning av energitorv genom olika kompensationsåtgärder/åtgärder för att minska utsläpp av växthusgaser från dränerad torvmark eller öka upptag i biomassa.
3. Föra ett resonemang kring miljövärdering av rökgaskondensering.

2 Metod

Utgångspunkten för arbetet med emissionsfaktorer i denna rapport har varit att utgå från befintliga, redan publicerade data, vilka prövats mot ett antal bedömningskriterier uppsatta i Miljöfaktaboken av Gode et al. (2011). I vissa fall har data bearbetats av IVL för att bättre passa in på uppsatta kriterier och vara tillförlitliga för Värmemarknadskommitténs ändamål vilket i de fallen framkommer under respektive bränsle.

För mer information om de kriterier som tillämpats vid granskning av data hänvisas till Gode et al. (2011). Här beskrivs även grundläggande information om livscykelanalys, systemgränser, allokering och primärenergi som för den intresserade läsaren. För beräkning av emissionsfaktorn för energitorv som bränsle i el- och värmeproduktion har metoden i Zetterberg (2016) tillämpats där nettoutsläppen beräknas, en metod som förklaras mer i detalj under avsnittet om torv.

2.1 Global warming potential

Naturvårdsverkets aktuella omvandlingsfaktorer för att omvandla växthusgaser till den jämförbara basen koldioxidekvivalenter ($\text{CO}_2\text{-eq}$) har tillämpats i detta projekt för att följa värdena i svensk klimatrapporering i dag. Global Warming Potential (GWP) för metan och lustgas som använts i detta projekt redovisas i Tabell 3.

Tabell 3: Global warming potential för metan och lustgas uttryckt i koldioxidekvivalenter (Naturvårdsverket, 2020)

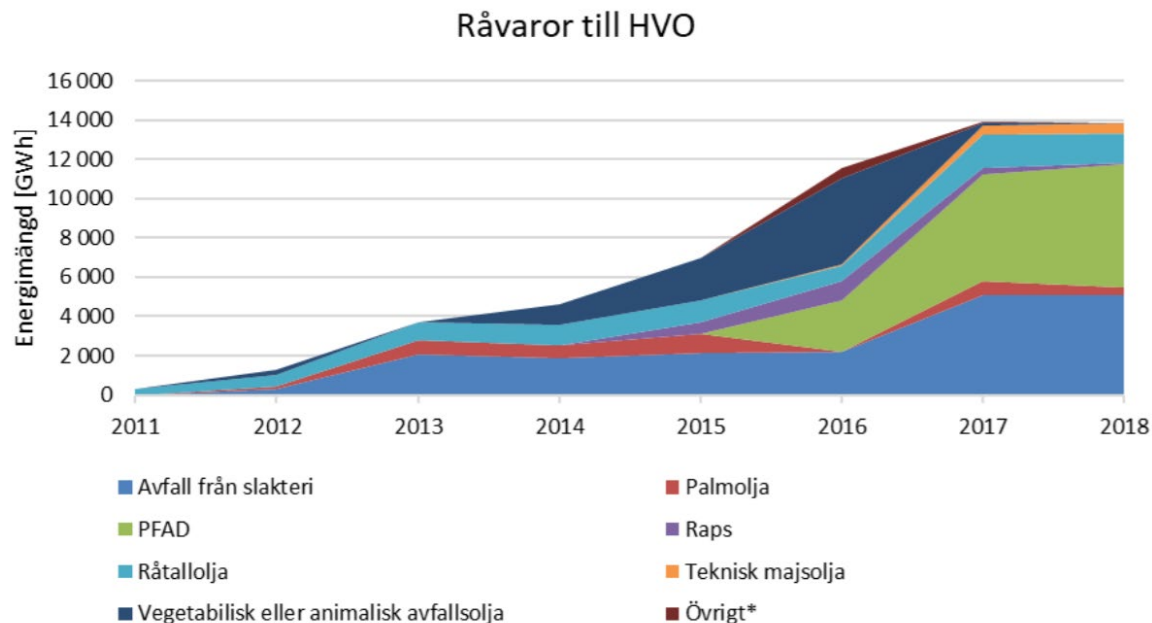
		GWP ₁₀₀
Koldioxid	CO ₂	1
Metan	CH ₄	25
Dikväveoxid (lustgas)	N ₂ O	298

Naturvårdsverkets omvandlingsfaktorer kommer att uppdateras i enlighet med IPCC:s Fifth Assessment Report (AR5). Metan kommer då att tilldelas en faktor 28 och lustgas en faktor 265.

3 Emissionsfaktorer för bränslen

3.1 Hydrerad vegetabilisk olja (HVO)

Hydrerad vegetabilisk olja, HVO, är en typ av biodiesel som kan framställas av många olika substrat, till exempel av vegetabiliska oljor eller animaliska fetter med svensk och utländskt ursprung. Inom systemet för hållbarhetskriterier som har sitt ursprung i förnybartdirektivet har Energimyndigheten inga uppgifter på att HVO används till el- och värmeproduktion och mängderna antas därför i dag vara marginella. Den HVO som används till el- och värmeproduktion är av samma kvalitet som samma bränsle till fordonsdrift, som är det stora användningsområdet för HVO i dag, och för att bedöma vilket substrat som används för tillverkning av HVO på den svenska marknaden används statistiken i Energimyndighetens senaste Drivmedelsrapport (Energimyndigheten, 2019). I rapporten anges statistik från 2018 som visar att 46 % av HVO tillverkas av en biprodukt från palmoljaframställningen som kallas palm fatty acid distillate (PFAD), 37 % tillverkas av animaliska fetter (avfall från slakteri), 10 % råttolja, 4 % teknisk majsolja och 3 % palmolja. PFAD och palmolja kommer huvudsakligen från Indonesien och Malaysia.



Figur 1: Utveckling för användning av råvaror till HVO (Energimyndigheten, 2019). *Övriga råvaror: majs, soja och korn.

Det finns statistik för vilka substrat som används för tillverkning av HVO för drivmedelsproduktion men det går idag inte att avgöra vilka substrat som används för tillverkning av HVO som går till el- och värmeproduktion. Därför presenteras ett flertal emissionsfaktorer för produktion och distribution av HVO som får representera variationen av olika HVO som i Sverige skulle kunna gå till el- och värmeproduktion baserat på statistiken från HVO till fordonsdrift. Från 1 juli 2019 betraktas PFAD och teknisk majsolja inte längre som restprodukter och måste därmed ha spårbarhet tillbaka till odlingen och utsläpp från hela produktionskedjan ska räknas med i emissionsfaktorn. Konsekvenserna av detta beslut bedöms, åtminstone på kort sikt, vara att HVO inte kommer att produceras från dessa råvaror och inga studier som inkluderar odlingssteget för dessa råvaror har identifierats och de är därmed inte inkluderade i studien. Emissionsfaktorer från följande substrat inkluderas i studien:

- Slaktavfall
- Tallolja (råtalolja)
- Used Cooking Oil (UCO) (vegetabilisk eller animalisk avfallsolja)
- Rapsolja

För slaktavfall, tallolja, UCO och rapsolja används emissionsfaktorer och primärenergifaktorer för HVO från Källmén et al. (2019). För de substrat som räknas som restprodukter är inte energin i bränslet inkluderat i primärenergifaktorn.

3.1.1 HVO från slaktavfall

För HVO från slaktavfall räknas produktionen av råvaran enligt Förnybarhetsdirektivet (EU:s Renewable Energy Directive, RED) som en restprodukt och inga produktionsemissioner är allokerade till slaktavfallet. De utsläpp som är inkluderade i framställningen av HVO från slaktavfall är utsläpp från framställning av talg med fysisk allokering mellan produkterna (talg, köttmjöl, benmjöl), transport till Finland för produktion av HVO samt distribution till tankstationer i Sverige. Produktionen av HVO fördelas enligt energiallokering mellan HVO, biobensin, el och ånga. Källmén et al. (2019) syftar till att fram generella data snarare än från enskilda produktionsanläggningar och har baserat sin data på litteratur publicerad 2006–2008 samt från ecoinvent. Biogena metanutsläpp redovisas separat och har inte inkluderats i emissionsfaktorn i detta projekt, värdet är försumbart litet. Europeisk medel har tillämpats i beräkningarna.

3.1.2 HVO från tallolja

För HVO från tallolja har Källmén et al (2019) gjort beräkningar för två fall, tallolja som restprodukt (enligt förnybarhetsdirektivet) och en exemplifiering av hur utsläppen i ett livscykelperspektiv skulle bli om tallolja istället klassades som en biprodukt där råvaruproduktionen har allokerats med ekonomisk allokering. I denna studie redovisas emissionsfaktorn för HVO från tallolja som restprodukt för att vara i enlighet med förnybarhetsdirektivet. Processer som inkluderas i emissionsfaktorn är produktion av råtdiesel och HVO samt transporter till anläggningarna och distribution till tankstationen i Sverige. Det antas att råttalloljan har producerats vid en svensk industri för massaproduktion. Produktionen av HVO fördelas enligt energiallokering mellan HVO, biobensin, el och ånga. Källmén et al. (2019) syftar till att fram generella data snarare än från enskilda produktionsanläggningar och har baserat sin data på litteratur publicerad 2017. Svensk medel har tillämpats i beräkningarna.

3.1.3 HVO från Used Cooking Oil (UCO)

HVO från Used Cooking Oil (UCO) hanteras i Källmén et al. (2019) som en restprodukt enligt RED-direktivet. Processer som är inkluderade i emissionsfaktorn är produktionen av HVO samt transport till produktionsanläggningen i Finland och distribution till svenska tankstationer. Produktionen av HVO fördelas enligt energiallokering mellan HVO, biobensin, el och ånga. Källmén et al. (2019) syftar till att fram generella data snarare än från enskilda produktionsanläggningar och har baserat sin data på litteratur publicerad 2006–2008. Europeisk medel har tillämpats i beräkningarna.

3.1.4 HVO från rapsolja

I emissionsfaktorn för HVO från rapsolja inkluderas rapsodling, rapsoljaproduktion och produktion av HVO samt transport mellan anläggningarna och distribution till tankstationer i Sverige. Rapsen odlas i Tyskland där också rapsoljan produceras, produktionen av HVO antas ske i Finland. Rapsoljaproduktionen är allokerad med ekonomisk allokering mellan rapsolja och rapsmjöl. Produktionen av HVO fördelas enligt energiallokering mellan HVO, biobensin, el och ånga. Källmén et al (2019) syftar till att fram generella data snarare än från enskilda produktionsanläggningar och har baserat sin data på litteratur publicerad 2006–2008 samt data från LCI databasen ecoinvent. Europeisk medel har tillämpats i beräkningarna. För HVO från rapsolja är energin i bränslet inkluderat i primärenergifaktorn.

3.1.5 Användning av HVO i el- och värmeproduktion

HVO i el- och värmeproduktion sker i dag i små volymer och verkar inte ske i enskilda anläggningar vilket krävs för att kunna mäta utsläppen. Då inga uppmätta utsläpp för HVO vid förbränning i el- och värmeproduktion finns att tillgå har metan- och lustgasutsläpp estimerats vara snarlika som vid förbränning av eldningsolja 1 i el- och värmeproduktion på grund av snarlika egenskaper som liknande värmevärde och densitet (SPBI, 2019). HVO i fordonsdrift har samma utsläpp av metan- och lustgas som fossil diesel (Hallberg, et al., 2013). Fossila koldioxidutsläppen vid förbränning av HVO är noll. Ursprunget av HVO anses inte påverka utsläppen vid förbränning utan anses samma för all HVO. För vissa biooljor för värmeproduktion har regeringen föreslagit att införa energi- och koldioxidskatt från 2021 vilket kommer att påverka användningen av dessa biooljor (Rydegran, 2020).

Typ av bränsle och substrat	HVO Slaktavfall som restprodukt	HVO UCO som restprodukt	HVO Rapsolja	HVO Tallolja som restprodukt	HVO (samtliga substrat)
Del av livscykel	Produktion & distribution	Produktion & distribution	Produktion & distribution	Produktion & distribution	Förbränning
Referens	Källmén et al. (2019)	Källmén et al. (2019)	Källmén et al. (2019)	Källmén et al. (2019)	Naturvårdsverket (2019)
Primärenergi	MJ/MJ	MJ/MJ	MJ/MJ	MJ/MJ	
	4,58E-01	1,43E-01	1,54E+00*	2,01E-01	
Växthusgasutsläpp	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ
	3,15E+01	1,18E+01	6,08E+01	5,29E+00	2,04E-01

*Bränslet är inkluderat med 1 MJ i primärenergifaktorn.

3.2 Rapsmetylester (RME)

Rapsmetylester, RME, är den i Sverige dominerande formen av FAME (Fatty Acid Methyl Ester), som är ett samlingsnamn för olika biodiesel. RME framställs genom omförestring av rapsolja där glycerolen ersätts mot en metanol. RME används främst som ersättare för diesel i bussar men mindre mängder används även till el- och värmeproduktion. Inom systemet för hållbarhetskriterier som har sitt ursprung i förnybartdirektivet har Energimyndigheten uppgett att det 2018 användes drygt 130 GWh FAME till värmeproduktion varav cirka 90 % kom från raps och cirka 10 % från FFA (Free Fatty Acid), en ökning från 34 GWh 2017. Då FFA inte längre betraktas som en restprodukt enligt förnybarhetsdirektivet bedöms FFA inte vara intressant att beakta i denna studie. Raps som används för RME produktion som går till el- och värmeproduktion i Sverige har huvudsakligen svenskt ursprung, följt av Ryssland, Danmark, Australien, Rumänien och Tyskland. Information om var RME har producerats har inte kunnat identifierats i redovisad statistik. RME som används till el- och värmeproduktion är i huvudsak av samma kvaliteter som den

som går till fordonsdrift och uppströmsemissioner kan därför tas från livscykelanalyser som är riktade mot fordonsdrift.

I Energimyndighetens senaste Drivmedelsrapport från 2019 (Energimyndigheten, 2019) var användningen av FAME under 2018 1005 GWh och i princip uteslutande av rapsursprung där Danmark och Tyskland är de största råvaruleverantörerna. Detta skiljer sig något från raps som används i tillverkning av RME för el- och värmeproduktion där ursprunget är huvudsakligen svenskt.

I denna rapport har uppströmsemissioner för produktion och distribution tagits från Gode et al. (2011) som baseras på Börjesson et al. (2010). Data i studien anses fortfarande vara gällande och de framtagna emissionsfaktorer som beskriver produktionen av RME till el- och värmeproduktion för svenska förhållanden. Alternativet med energiallokering för biprodukterna från rapsodling (rapsmjöl, glycerol, halm) har valts ut i Gode et al. (2011). Data har valts ut för att vara generell för svenska förhållanden medan själva produktionen är platsspecifik för Karlshamn och Stenungssund. För RME är energin i bränslet inkluderat i primärenergifaktorn.

3.2.1 Användning av RME i el- och värmeproduktion

RME i el- och värmeproduktion används fortfarande i relativt lite utsträckning och enbart en miljörapport innehållande emissionsmätningar för förbränning av RME i enskild panna har identifierats i projektet. Fokus vid den identifierade mätningen var på utsläpp av NO_x och CO men även CO₂ uppmättes. Data över utsläpp från förbränning i el- och värmeproduktion har därför tagits från två olika referenser. För metan och lustgasutsläpp estimeras utsläppen vara liknande de som uppstår vid förbränning av eldningsolja 1 (eo1) på grund av snarlika egenskaper, som liknande värmevärde och densitet (SPBI, 2019) och emissionsdata är taget från Naturvårdverket (2019). För RME är 1 av 19 kolatomer i bränslet av fossilt ursprung från metanolen och denna del har beräknats utifrån den identifierade miljörapporten och baseras således på mätningar vid en enskild anläggning (Solör Bioenergi AB, Mölnlycke, 2019). Om metanolens ursprung är förnybart kan det lägre värdet för koldioxidekvivalenter i tabellen användas som enbart inkluderar utsläpp av metan och lustgas. För vissa biooljor för värmeproduktion har regeringen föreslagit att införa energi- och koldioxidskatt från 2021 vilket kommer att påverka användningen av dessa biooljor (Rydegran, 2020).

Typ av bränsle	Rapsmetylester (RME)	Rapsmetylester (RME)
Del av livscykel	Produktion & distribution	Energiomvandling
Referens	Gode et al. (2011)	Naturvårdsverket (2019), (Solör Bioenergi AB, Mölnlycke, 2019).
Primärenergi	MJ/MJ	
	1,27E+00*	
Växthusgasutsläpp	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ
	2,38E+01	2,93E+00
Om förnybar metanol	1,87E-01	

*Bränslet är inkluderat med 1 MJ i primärenergifaktorn.

3.3 Biogas

Biogas är ett gasformigt biobränsle som kan framställas av en mängd olika substrat. Den vanligaste metoden att framställa biogas är genom rötning då mikroorganismer bryter ner organiskt material i en syrefri miljö (Energigas Sverige, 2017). Rötning är i dagsläget den enda metoden som används i Sverige. Biogas till el- och värmeproduktion kan både vara i form av rågas, som är en blandning av framförallt metan och koldioxid, eller uppgraderad gas där man har ökat metaninnehållet till cirka 97%. Den uppgraderade gasen används framför allt i fordonsdrift.

Enligt Energimyndigheten (2019) användes 2018 cirka 3,6 TWh biogas i Sverige varav cirka 2 TWh kom från svenskproducerad biogas. Av den svenskproducerade biogasen uppgraderas majoriteten (63 %) och används till fordonsdrift och resterande biogas är fördelat enligt Tabell 4 nedan. Svenskproducerad biogas till stationär förbränning antas därför huvudsakligen ske i form av rågas. Den importerade biogasen (via gasnätet) uppgick 2018 till 1,6 TWh, varav 1 TWh var danskproducerad och resterande från övriga EU och är uppgraderad biogas. Den importerade biogasen antas vara fördelad enligt 1/3 fordonsgas och 2/3 industri. Anledningen till att importerad uppgraderad biogas går till el- och värmeproduktion är att flera industrier längs gasnätets sträckning är anslutna till gasnätet.

Tabell 4: Fördelning per användningsområde av 2 TWh svenskproducerad biogas. Data bearbetad från Energimyndigheten (2019).

	Fordonsgas	Industri	Värme	Fackling	El	Övrigt
Fördelning	63 %	3 %	20 %	10 %	2 %	2 %
Användning	CBG*	Rågas	Rågas	Ej relevant	Rågas	Ej relevant

* Komprimerad biogas (CBG)

Den svenskproducerade rågasen användningsområden är beroende på typ av produktionsanläggning och fördelas enligt Tabell 5 nedan. För att representera variationen av biogas som i Sverige går till el- och värmeproduktion kommer tre olika emissionsfaktorer för produktion och distribution av biogas att presenteras.

- Inhemskt producerad biogas från avloppsslam vid reningsverk och industriellt avloppsvatten
- Inhemskt producerad biogas från gödsel vid gårdsanläggningar
- Importerad biogas via gasnätet

Gasproduktionen från deponier kommer framgent att minska på grund av förbudet mot att deponera organiskt material och är därför inte inkluderad i studien.

Tabell 5: Produktionsanläggning och användningsområde för svenskproducerad biogas 2018. Data bearbetad från Energimyndigheten (2019).

	Fordonsgas [GWh]	Industri [GWh]	El [GWh]	Värme [GWh]	Övrigt* [GWh]	Summa [GWh]
Reningsverk	426	0	14	191	95	726
Gårdsanläggning	18	0	9	17	12	56
Samrötning	838	4	9	43	70	964
Industri	0	48	3	58	34	143
Deponi	0	0	8	91	41	140
Summa	1282	52	43	400	252	2029

* Sammanslagning: 14 GWh saknar användningsområde, 27 GWh anges som övrigt och 211 GWh facklas i energimyndighetens statistik.

3.3.1 Inhemskt producerad biogas från avloppsslam vid reningsverk och industriellt avloppsvatten

Den svenskproducerade biogasen som går till el- och värmeproduktion kommer huvudsakligen från reningsverk där avloppsslam är det dominerande substratet och där biogasen förbränns som rågas. Biogas samlas alltid in på reningsverk, förr facklades den bort medan den nu tas tillvara på, antingen som rågas eller uppgraderas vidare. Då större reningsverk uppgraderar biogas är det rimligt att anta att det är de mindre reningsverken som levererar biogas till el- och värmeproduktion. I industrin är avloppsvatten det dominerande substratet och användningen av biogas är intern och går oftast till värmeproduktion. Enligt RED-direktivet är rötningen av avloppsslammet och industriellt avloppsvatten till biogas en del av processen som ändå skulle ske vid reningsverket och räknas därför inte med i emissionsfaktorn för den producerade biogasen. För biogas från avloppsslam och industriellt avloppsvatten är energin i bränslet inte inkluderat i primärenergifaktorn. Produktion av rågas från avloppsslam tilldelas således ingen emissionsfaktor eller primärenergifaktor. Detta resonemang är även sant för rågas producerad vid deponi med systemgränserna uppsatta i RED-direktivet. Förbränning av rågas uppskattas oftast ske i gaspanna eller gasmotor i anläggningar som ligger i närheten av biogasanläggningen och därför försummas distributionen av biogas (samma antagande har gjorts i Palm & Ek (2010)).

3.3.2 Inhemskt producerad rågas från gödsel vid gårdsanläggningar

Tufvesson, Lantz & Björnsson (2013) tar fram livscykeldata för en större gårdsanläggning med gödsel som substrat som även uppgraderas och distribueras som fordonsgas. Produktionen av biogas antas ske på en central gårdsanläggning dit gödsel från lantbruk transporteras. Gödselsubstratet består huvudsakligen av flytgödsel från nöt och svin. Beräkningar i rapporten är enligt ISO-standard för livscykelanalyser och den funktionell enhet i rapporten "1 kWh fordonsgas vid tankstation". Data i Tufvesson, Lantz & Björnsson (2013) är utvald för att representera *best available technology*.

Redovisningen av emissioner vid varje steg gör dock att data kan bearbetas för att enbart inkludera produktion av rågas i emissionsfaktorn eftersom det bedöms vara rågas från svenska gödselanläggningar som går till el- och värmeproduktion. Eftersom det uppskattas att det är framför allt är mindre gårdsanläggningar som levererar rågas till el- och värmeproduktion medan större anläggningar uppgraderar till fordonsgas antas även att biogasproduktionen sker direkt på gårdsanläggningen och att transporter till en central anläggning inte räknas med. I

emissionsfaktorn för rågas har tillförd processenergi vid produktion av biogas samt metanläckage från biogasanläggningen motsvarande 0,37 g CH₄/kWh biogas räknats in. Konversionsfaktorer för emissioner för insatsenergi och drivmedel är tagna från rapporten medan den sammantagna emissionsfaktorn är beräknad med de GWP-faktorer som gäller i denna rapport (kapitel 2.1). Då primärenergifaktorer saknas i rapporten är dessa tagna från Gode et al. (2011) enligt svensk medel 2,1, skogsflis 1,05 och diesel 1,09. För biogas från gödsel är energin i bränslet inte inkluderat i primärenergifaktorn.

3.3.3 Importerad biogas via gasnätet

Huvuddelen av importen av biogas via gasnätet produceras i Danmark där substratmixen är fördelat enligt Tabell 6. I Danmark producerades 3,89 TWh biogas varav ca 1 TWh exporterades till Sverige via gasnätet. Den importerade gasen approximeras produceras på samma sätt som i en svensk samrötningsanläggning eftersom energigröda förväntas ersättas av andra substrat i Danmark och EU.

Tabell 6: Substratmix för dansk biogas. Data har bearbetats från Föreningen Biogasbranschen (Sander Nielsen, 2020)

Gödsel	Energigröda	Industri	Matavfall	Glycerin	Rester grödor
33 %	10 %	32 %	6 %	11 %	8 %

I Börjesson et al. (2016) finns hela livscykelanalysen med från produktion, uppgradering, efterbehandling, distribution, tankstation och slutanvändning som fordonsdrift. Substratet i samrötningsanläggningen baseras på en uppskattning av råvara som gick till biogasproduktion i Sverige 2014 och består av gödsel, industriavfall, matavfall och slaktavfall. Sammansättningen är snarlik den i Tabell 6 som anses representativt för Sverige med den största skillnaden att energigrödorna inte ingår i substratmixen i Börjesson et al. (2016) och istället är andelen matavfall högre. Samrötningsanläggningen representerar en generell, modern samrötningsanläggning.

I denna studie används data för produktion av biogas i en anläggning med kapacitet för 100 GWh biogas per år, uppgradering med vattenskrubbteknik samt kompression av gasen till 80 bar för distribution till gasnätet och transport i stamnätet. Injektion av propan på nätet för att kompensera för att biogas har ett lägre värmevärde än naturgas är inte inkluderat i Börjesson et al. (2016). Efter uppgradering av biogasen är andelen metan redan mellan 95–99 %. I studien jämförs resultat med där beräkningar är gjorda både utifrån systemgränserna enligt ISO standard och RED standard. Data presenterat i denna rapport är beräkningar

enligt RED standard i enlighet med uppsatta krav i Miljöfaktaboken. Data i rapporten har bearbetats av IVL för att exkludera primärenergiåtgång och växthusgasutsläpp som sker vid tankstationer. För biogas importerad via gasnätet är energin i bränslet inte inkluderat i primärenergifaktorn.

I Börjesson et al. (2016) har CO₂-ekvivalenter beräknats med följande omräkningsfaktorer; 1 g CH₄ motsvarar 23 g CO₂-ekvivalenter och 1 g N₂O motsvarar 296 g CO₂-ekvivalenter. Data i Börjesson et al. (2016) presenteras enbart aggregerat som CO₂-ekvivalenter och omvandlingsfaktorerna skiljer sig marginellt från de konversionsfaktorer till CO₂-ekvivalenter som används i resten av rapporten.

3.3.4 Uppskattning av svenskt genomsnitt

Tabell 7: Emissionsfaktor och primärenergifaktor för produktion & distribution av biogas som bränsle till el- och värmeproduktion

Typ av bränsle och substrat	Biogas Avloppsslam & industriellt avloppsvatten	Biogas Samrötningsanläggning	Biogas Gödsel
	Rågas	Uppgraderad biogas	Rågas
Del av livscykel	Produktion & distribution	Produktion & distribution	Produktion & distribution
Referens	-	Börjesson et al. (2016)	Tufvesson, Lantz & Björnsson (2013)
Primärenergi	MJ/MJ	MJ/MJ	MJ/MJ
	0	3,10E-01	2,81E-01
Växthusgasutsläpp	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ
	0	1,23E+01	3,57E+00

Skillnaderna i växthusgasutsläpp och primärenergifaktor är stor beroende av vilket substrat biogasen produceras av och om gasen uppgraderas eller förbränns som rågas. Statistiken över, framför allt, användningsområden för den importerade biogas är bristfälliga. Det mest tillförlitliga är därför att användaren är medveten om var biogasen som förbränns kommer ifrån. Nedan följer ett räkneexempel för växthusgasutsläpp och primärenergifaktor för ett svenskt medelvärde baserat på

tillgängliga data och de ovan framtagna emissions- och primärenergifaktorerna för biogas till el- och värmeproduktion i Sverige:

Av de 1,6 TWh biogas som importeras går cirka två tredjedelar till industri och värme. Fördelningen mellan användning i industrin och användning till värmeproduktion finns inte exakt men det uppskattas att merparten användas för att ersätta naturgas inom processindustrin och viss del går till uppvärmning. Med antagandet att cirka en fjärdedel går till uppvärmning ger det $1600 \text{ GWh} \cdot (2/3) \cdot (1/4) = 267 \text{ GWh}$.

För den svenskproducerade biogasen finns bättre statistik över produktionsanläggning och användningsområde (Tabell 5) och utifrån de framtagna emissions- och primärenergifaktorerna som valts ut i denna rapport och som presenteras i Tabell 7 kan ett svenskt genomsnitt för biogas till el- och värmeproduktion uppskattas. 26 GWh biogas till el- och värmeproduktion kommer från gårdsanläggningar och 266 GWh från reningsverk och industri (Tabell 5).

Enligt räkneexemplet fördelas då den biogas som används till el- och värmeproduktion enligt;

$$266 / (266 + 26 + 267) = 47,6\% \text{ från reningsverk \& industri}$$

$$26 / (266 + 26 + 267) = 4,6\% \text{ från gårdsanläggningar}$$

$$267 / (266 + 26 + 267) = 47,7\% \text{ importerad}$$

Det genomsnittliga emissions- och primärenergifaktorn beräknas då enligt följande;

$$\text{Svenskt genomsnitt växthusgasutsläpp} = 47,6\% \cdot 0 + 4,6\% \cdot 3,57 + 47,7\% \cdot 12,3 = 6,03 \text{ g CO}_{2\text{-eq}}/\text{MJ}$$

$$\text{Svenskt genomsnitt PEF} = 47,6\% \cdot 0 + 4,6\% \cdot 0,281 + 47,7\% \cdot 0,31 = 0,16 \text{ PEF}$$

Påverkan från antaganden gällande andelen importerad biogas som går till el- och värmeproduktion är det som styr emissionsfaktorn. Det rekommenderas att använda emissionsfaktorn för den biogas som faktiskt används i applikationen man är intresserad av, om denna är känd.

3.3.5 Användning av biogas i el- och värmeproduktion

Förbränning av biogas i el- och fjärrvärmeproduktion

För förbränning av biogas i storskalig produktion har Naturvårdsverkets data valts ut. För mindre produktionsanläggningar i stationär förbränning för produktion av el- och värme antas högre utsläpp, se nedanstående tre emissionsfaktorer.

Förbränning av biogas i gaspanna

I Lantz, Ekman & Börjesson (2009) jämförs fyra olika referenser för förbränning av biogas och naturgas i gaspannor från medelstora fastighetspannor till värmeverk. Emissionerna antas gälla för en gaspanna som genererar processvärme till biogasanläggningen genom förbränning av biogas. Underliggande studier är publicerade 2001–2008. Presenterade data är bearbetad av IVL.

Förbränning av biogas i kraftvärmeverk

I Tufvesson, Lantz & Björnsson (2013) görs en litteraturstudie över utsläpp vid förbränning av biogas i kraftvärmeproduktion som baseras på mätningar utförda på danska och tyska anläggningar och gäller för decentraliserade anläggningar. Underliggande studier är publicerade 2006–2013. Presenterade data är bearbetad av IVL.

Tabell 8: Emissionsfaktor och primärenergifaktor för användning av biogas som bränsle till el- och värmeproduktion

Typ av bränsle	Biogas	Biogas	Biogas
Del av livscykel	Användning i kraftvärmeverk (mindre anläggning)	Användning i gaspanna (mindre anläggning)	Användning i el- och fjärrvärmeproduktion (central produktionsanläggning)
Referens	Tufvesson, Lantz & Björnsson (2013)	Lantz, Ekman & Börjesson (2009)	Naturvårdsverket (2019)
Växthusutsläpp	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ
	1,13E+01	6,96E-01	5,48E-02

4 Emissionsfaktorer för torv och kompensationsåtgärder

Torv är ofullständigt nedbrutet organiskt material som bildas i fuktiga och syrefattiga miljöer. Torv började bildas när inlandsisen smälte och torvtillväxten pågår fortfarande. Cirka en fjärdedel av Sveriges landyta är täckt av torv, varav hälften har en mäktighet på mer än 30 cm och räknas därmed som torvmark (Lundblad, et al., 2016). Torv skördas idag endast från torvmarker som tidigare dränerats för att öka Sverige arealer av skogs- och jordbruksproduktion. Med torv i denna rapport avses energitorv som kan användas som bränsle vid el- och värmeproduktion. 2018 utgjorde torven cirka 2 % av energitillförseln till el- och värmeproduktion i Sverige (Energimyndigheten, 2019). Sameldning av torv med biobränslen i värmeverk har flera förbränningstekniska fördelar. Den reaktiva torvaskan överför/avlägsnar kalium under gasfasen till en mindre reaktiv partikulär form, vilket minskar askrelaterade driftproblem (t.ex. bäddagglomerering). Inblandning av torv minskar korrosionen i pannan och förlänger livslängden på delar av anläggningen och ersätter behovet av att tillsätta granulärt svavel (Öhman & Boman, 2018) (PROFU, 2018).

Torv kan även användas som strömmaterial för djurhållning, som substrat för odling och jordförbättring, sanerings- eller filtermaterial, biostimulator och byggnadsmaterial (Svensk Torv, 2020). Torv är ett inhemskt bränsle som är lätt att lagra och är därför lämpligt som beredskapsbränsle (Svebio, 2020).

När torvmarker dräneras syresätts torven och nedbrytningen av det organiska materialet ökar, vilket ger upphov till växthusgasutsläpp. Utsläppen av koldioxid och lustgas ökar när grundvattennivån sänks medan metanutsläppen påverkas i omvänd riktning. Utsläppen av växthusgaser pågår oavsett om torv skördas eller ej och det finns därför ett stort intresse av att åtgärda sådana marker för att minska klimatpåverkan. Beskogning och återvätning är de vanligaste åtgärderna men det finns många andra exempel (t.ex. energiskogsodling, jordbruk eller fiskodling). Vilken efterbehandlingsmetod som väljs beror på förutsättningarna för den aktuella torvtäkten.

I denna rapport beräknas emissionsfaktorer för energitorv baserat på en metod framtagen i Zetterberg (2016) där nettoutsläppen beräknas ur ett livscykelperspektiv (4.1 Nettoutsläpp av växthusgaser för energitorv) vilket innebär att alla utsläpp och upptag av växthusgaser då torven skördas och förbränns, jämfört med referensfallet, att torven inte skördas och förbränns utan marken fortsätter uppta och avge växthusgaser inkluderas. Utsläppen ur ett livscykelperspektiv samt utsläppen från själva förbränningen är utgångspunkten

för att undersöka möjligheterna att kompensera för utsläppen genom åtgärder på annan mark (4.2 Kompensationsåtgärder).

4.1 Nettoutsläpp av växthusgaser för energitorv

Enligt metoden i Zetterberg (2016) beräknas torvens emissionsfaktor som nettoutsläppen i ett livscykelperspektiv där de ingående stegen i metoden är:

a) Referensfallet

Nettoutsläpp av växthusgaser från torvmarken och kolupptag i biomassa (om det växer skog på torvmarken) om torven inte hade skördats. Detta innebär att torvmarkerna i dag tar upp eller släpper ut växthusgaser enligt "nollalternativet" beroende på om marken är skogbeklädd eller ej.

b) Utvinning

Utsläpp från mark i samband med skörd av torven.

c) Maskiner

Utsläpp från förbränning av insatsbränslen i maskiner i samband med dränering, torvskörd, lagring och transport. Maskiner vid torvproduktion drivs i dag helt på HVO medan transporter till förbränningsanläggning oftast går på diesel.

d) Förbränning

Utsläpp som uppstår i samband med förbränning av torv.

e) Efterbehandling

Utsläpp och upptag från torvmarken efter att torven är färdigskördad och marken efterbehandlas. Efter att torvskörden har avslutats är den vanligaste efterbehandlingsmetoden att beskoga marken. För beräkning av emissionsfaktorn för energitorv kommer därför beskogning att användas som efterbehandlingsmetod. Andra alternativ är efterbehandling i form av till exempel våtmark eller sjö. Efterbehandling av en torvtäkt ska ej förväxlas med möjligheten att kompensera utsläpp på andra torvtäkter än den där torvskörden pågår, vilket behandlas i kommande avsnitt (4.2 Kompensationsåtgärder).

Nettoutsläppen av torvanvändning enligt Zetterberg (2016) beräknas enligt Formel 1:

Formel 1: Beräkning av nettoutsläpp från förbränning av torv

$$\text{Nettoutsläpp} = b + c + d + e - a$$

Ur ett livscykelperspektiv domineras utsläppen från torv som bränsle av förbränningssteget men olika metodval och antaganden för resterande delar av livscykeln har stor påverkan på de resulterande nettoutsläppen. Detta innefattar framför allt val av torvmark för torvskörd, inklusive torvmäktighet (vilket avgör hur länge en täkt är i bruk) och hur marken efterbehandlas. Valet av tidsperspektiv vid beräkning av nettoutsläppen för torvens klimatpåverkan har stor påverkan på resultatet.

4.1.1 Tidsperspektivet

I Zetterberg (2016) förs även ett resonemang om tidsperspektivet där man valt att använda tiden från det att dränering för torvskörd inleds tills dess att den vid efterbehandlingen planterade skogen är mogen att skördas. I det räkneexempel som presenteras i Zetterberg (2016) innebär det en total tid av 107 år. En sådan beräkningsmetod innebär att de utsläpp som i praktiken sker momentant i och med att torven skördas och förbränns (c och d enligt ovan) ställs mot utsläpp från mark och upptag i biomassa som sker under en lång tid efter det att utsläppen från förbränningen skett. Effekten på uppvärmningen inträffar alltså direkt när utsläppen sker och kvarstår under ansevärd tid. Det innebär att även om mängden utsläppta växthusgaser i samband med skörd, distribution och förbränning kompenseras genom efterbehandlingen (nettoupptag av koldioxid) så kan i praktiken inte den uppvärmande effekten av utsläppen från produktion och förbränning kompenseras förrän efter mycket lång tid eftersom upptagen sker långt efter det att utsläppen sker.

Givet att utsläppens effekt på klimatet, framförallt när det gäller koldioxid, kvarstår under mycket lång tid är det mest korrekta sättet att jämföra klimatpåverkan att räkna ut den kumulativa strålningsdrivningen som tar hänsyn till när utsläpp och upptag sker och den kvardröjande effekten på klimatet av alla utsläpp och upptag (se till exempel (Hagberg & Holmgren, 2008), (Lundblad, et al., 2016), (PROFU, 2018)).

4.1.2 Antaganden vid beräkningar av nettoutsläpp

Emissionsfaktorer för torv har beräknats för tre olika torvmarker; näringsrik väl-dränerad skogsmark med skog, näringsrik väl-dränerad skogsmark utan skog och näringsfattig sämre dränerad skogsmark med skog i enlighet med de kategorier som redovisas i Lundblad et al (2016) där markemissionerna utgår från Lindgren & Lundblad (2014) vilket är de siffror som ingår i svensk klimatrapportering i den årliga National Inventory Report (NIR) under klimatkonventionen (Naturvårdsverket, 2019) och från de Jong et. al. (2015). Det gör att utsläppen per arealenhet är något lägre än de som används i klimatrapporteringen.

I denna rapport används värden för väl-dränerad bördig torvmark respektive sämre dränerad näringsfattig torvmark. Markemissionerna inkluderar även koldioxidutsläpp via löst organiskt kol (DOC) samt metanutsläpp från diken. Kompletterande data är taget från Hagberg & Holmgren (2008) samt Naturvårdsverkets National Inventory Report 2020 (Naturvårdsverket, 2019). Dessa referenser bedöms ge ett bra underlag för generella emissionsfaktorer. Det finns ytterligare publicerad litteratur som visar på det stora spann i utsläppsfaktorer som finns på torvmarker (Väisänen, et al., 2013), (Kasimir, et al., 2018), (Salm, et al., 2012), (Maljanen, et al., 2014). En fullständig vetenskaplig litteraturgenomgång har dock inte varit en del av detta projekt.

Studier som sammanställt framtagna data över markemissioner från olika torvmarker (Hagberg & Holmgren, 2008), (Lundblad, et al., 2016) visar på stora osäkerheter i de enskilda emissionsfaktorerna. Lundblad et al. (2016) menar att osäkerheten för varje enskild emissionsfaktor kan vara 100 % och mer. Emissionsfaktorn för en viss typ av mark kan alltså variera mer än 100 % mellan olika mätplatser. En fördjupad litteraturstudie för att skatta tillämpbara emissionsfaktorer leder inte nödvändigtvis till lägre osäkerheter men kan möjligen leda till att emissionsfaktorerna är mer representativa för de områden där de används.

Tidsperspektiven som jämförs är ett 25-årsperspektiv, dels eftersom det är den ungefärliga tid som en täkt är aktiv dels för att undersöka hur torvens emissionsfaktor står sig i ett perspektiv fram till 2045 då Sverige ska vara koldioxidneutralt, samt ett 100-årsperspektiv. Ett torvdjup på 2,5 meter, med ett effektivt torvdjup på 2,2 meter, har använts eftersom detta är typiska mäktigheter för tåkter där skörd av torv är ekonomiskt intressant. Två års förarbete bedöms behövas innan skörd kan påbörjas. I normalfallet skördas cirka 10 cm per år vilket leder till en skördeperiod på 23 år. Den antagna skördetekniken är den vanligast förekommande i Sverige där torven skördas genom att ett tunt skikt fräses eller harvas upp för att sedan vändas och torkas. Efter ett par dagar samlas torven upp i strängar och lastas ut från mossen (Svensk Torv, 2020).

Det finns andra skördetekniker för torv vilket kan påverka de resulterande nettoutsläppen i ett livscykelperspektiv. Till exempel finns en teknik som kallas "upper and subfield process" som bland annat tillämpas på torvtåkter i Tyskland där delar av torvtäkten kan efterbehandlas genom återställning till myrmark samtidigt som torv fortfarande skördas (Gramoflor, 2020). En sådan skördeteknik skulle förmodligen minska nettoutsläppen då efterbehandling kan påbörjas mycket tidigare än i den antagna skördemetoden i detta räkneexempel. Metoden förekommer i Sverige i dag.

Den antagna skördetekniken i denna studie innebär att i ett 25-årsperspektiv pågår förarbete och skörd av torv under hela den beräknade tidsperioden medan i ett 100-årsperspektiv kommer effekterna av beskogningen att märkas på emissionsfaktorn. Efterbehandling av marken efter avslutad torvtäkt sker alltid och de olika tidsperspektiven är således enbart två olika sätt att räkna. Dessa två marker och tidsperspektiv har valts för att representera några av de olika alternativ som finns för att skörda torv i Sverige och visa på ett spann för emissionsfaktorer.

Arbetsmaskinerna vid skörd av torv drivs i dag helt med HVO som vid förbränning inte har några fossila koldioxidutsläpp och i mobil förbränning är utsläppen av metan och lustgas $1,96e-03$ g/MJ och $6,11e-03$ g/MJ, respektive (Hallberg, et al., 2013). I detta projekt antas även transporter ske med HVO. Antagandet från Hagberg & Holmgren (2008) om att 1,3% av energin i utvunnen torv går åt som insatsbränslen till maskiner och transport har använts. Emissionerna i detta steg blir väldigt små i förhållande till emissionerna i övriga steg.

Värmevärdet för torv är i beräkningarna satt till 10,8 MJ/kg (Naturvårdsverket, 2019) och densiteten till 330 kg/m³ (Zetterberg, 2016). Med ett torvdjup på 2,3 meter och där 1 m³ torv antas ge $0,5$ m³ energitorv (med en fuktighet på 45% vid förbränning) innebär det ett energiinnehåll på 3920 MJ/m²¹.

4.1.3 25-årsperspektiv

I 25-årsperspektivet antas ingen efterbehandling ske under perioden då torvtäkten förbereds och skördas. De resulterande nettoutsläppen blir därför högre i 25-årsperspektivet än i 100-årsperspektivet eftersom effekten av efterbehandling genom beskogning inte räknas med i 25-årsperspektivet. Lägst nettoutsläpp erhålls i ett 25-årsperspektiv om torv skördas från en näringsrik väl-dränerad skogsmark utan skog (Tabell 9).

¹ Densitet torv(330 kg/m³)*Värmevärde torv ($10,8$ MJ/kg)*Torvdjup ($2,2$ m)* $0,5=3920$ MJ/m²

Tabell 9: Ett 25-årsperspektiv på nettoutsläppen för skörd och förbränning av energitorv uttryckt i g CO₂-eq/MJ torv

	Näringsrik väl-dränerad skogsmark	Näringsfattig sämre dränerad skogsmark	Näringsrik väl-dränerad skogsmark utan
	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ
a) Referensfallet (utsläpp och upptag om ingen torvskörd hade skett)			
Markutsläpp (25 år) ¹	4,9	2,4	4,9
Upptag i växande skog (25 år)	-5,2	-2,7	
b) Utvinning			
Dränering (2 år) ²	0,5	0,4	0,5
Markutsläpp under torvskörd (23 år) ¹	6,9	6,9	6,9
Utsläpp från torvlagringshögar (23 år) ³	1,5	1,5	1,5
c) Utsläpp från transporter och arbetsmaskiner			
Utsläpp från transporter och arbetsmaskiner ⁴	0,02	0,02	0,02
d) Förbränning			
Förbränning ⁵	107,0	107,0	107,0
Nettoutsläpp 25 år (b+c+d-a)			
	116,1	116,0	110,9

¹ Lundblad (2016)

² Metod som Hagberg & Holmgren (2008) med markemissioner från Lundblad 2016)

³ Hagberg & Holmgren (2008)

⁴ HVO enligt kommunikation med Svensk Torv

⁵ Data enligt Hagberg & Holmgren (2008) men metod enligt i Zetterberg (2016) där upptag i växande skog i ett 100-årsperspektiv antas vara ett nollsummespel. Upptag i växande skog för referensfallet stryks då mot upptag i växande skog som efterbehandling.

4.1.4 100-årsperspektiv

I enlighet med Zetterberg (2016) bedöms upptag i växande skog i referensfallet, i de fall marken var beskogad innan torvskörden påbörjades, och upptag i växande skog som efterbehandling vara ett nollsummespel som balanserar varandra. Andra efterbehandlingsmetoder är till exempel återställning till våtmark eller sjö. På grund av att effekten av efterbehandlingen inkluderas i beräkningen blir nettoutsläppen lägre för 100-årsperspektivet än i 25-årsperspektivet. Skörd av torv från en näringsrik väl-dränerad skogsmark utan skog som sedan beskogas ger lägst nettoutsläpp (Tabell 10).

Tabell 10: Ett 100-årsperspektiv på nettoutsläppen för skörd och förbränning av energitorv uttryckt i [g CO₂-eq/MJ torv]. Referenser samma som i Tabell 9.

	Näringsrik väl-dränerad skogsmark	Näringsfattig sämre dränerad skogsmark	Näringsrik väl-dränerad skogsmark utan skog
	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ	g CO ₂ -eq/MJ
a) Referensfallet (utsläpp och upptag om ingen torvskörd hade skett)			
Markutsläpp (100 år)	19,6	9,5	19,6
Upptag i växande skog	-15,7	-8	
b) Utvinning			
Dränering (2 år)	0,5	0,4	0,5
Markutsläpp under torvskörd (23 år)	6,9	6,9	6,9
Utsläpp från torvlagringshögar (23 år)	1,5	1,5	1,5
c) Utsläpp från transporter och arbetsmaskiner			
Utsläpp från transporter och arbetsmaskiner	0,02	0,02	0,02
d) Förbränning			
Förbränning	107,0	107,0	107,0
e) Efterbehandling (100-årsperspektivet)			
e1) Återställning med skog-Markutsläpp	14,7	7,1	14,7

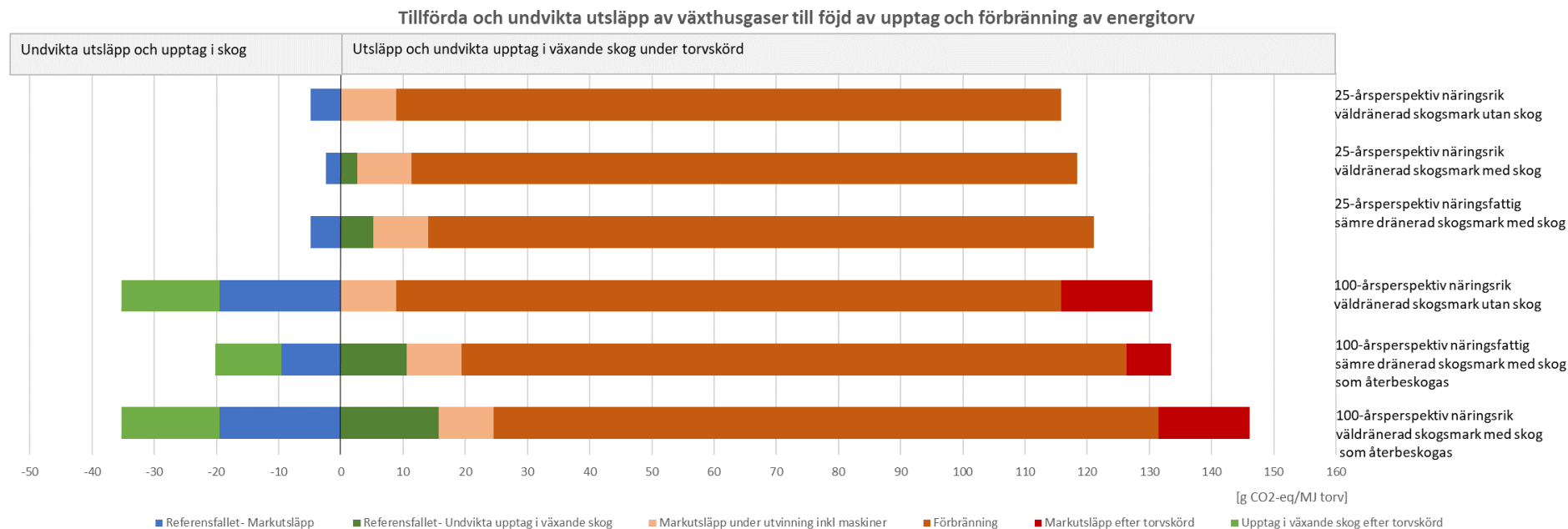
e2) Återställning med skog-Upptag i växande skog	-15,7	-8	-15,7
Nettoutsläpp Efterbehandling skog (b+c+d+e1+e2-a)	110,9	113,3	95,2

Nettoutsläppen från torv som beräknades i Zetterberg (2016) hade ett 107-årsperspektiv och beräknades för låga markemissioner och låg bonitet² på en skogsmark som sedan efterbehandlades genom att återbeskogas. För denna mark var emissionsfaktorn 111,7 g CO₂-ekvivalenter/MJ. För jämförelse mellan rapporterna används fallet med näringsfattig, sämre dränerad skogsmark som återbeskogas enligt ovan och har en emissionsfaktor på 113,3 g CO₂-ekvivalenter/MJ. Differensen i siffrorna beror huvudsakligen på att olika markutsläpp används i referensfallet där denna rapport använder uppdaterade siffror från Lundblad et al. (2016) samt att maskiner vid torvskörd idag drivs med HVO istället för diesel. I det andra scenariot i Zetterberg (2016), höga markemissioner och hög bonitet för skogsmark som sedan återbeskogas var emissionsfaktorn 96,1 g CO₂-ekvivalenter/MJ. Motsvarande siffra i denna rapport är för näringsrik, väl-dränerad skogsmark som återbeskogas och beräknats till 110,9 g CO₂-ekvivalenter/MJ. Även för denna jämförelse är det framför allt utsläppen från mark i referensfallet som är skillnaden men även markutsläppen vid efterbehandling till skog där Zetterberg (2016) antar att markutsläppen från kvarvarande torv minskar från referensfallet.

Primärenergifaktorn för energitorv till förbränning består av HVO till maskiner och transport samt för torven själv. Antaganden för förbrukning av bränsle till maskiner och transport som Hagberg & Holmgren (2008) använder och som även använts i denna rapport kommer från Zetterberg (2004) som uppger att 1,3 % av energiinnehållet i torven som skördas behövs som insatsbränsle. Torvens primärenergifaktor beräknas därmed till mellan 1,002–1,02 MJ/MJ torv³ beroende på ursprunget av HVO.

² Bonitet är ett mått på tillväxt av skog per ha och år under ideala förhållanden

³ Med en primärenergifaktor för HVO på antingen 0,143 (HVO från used cooking oil) eller 1,54 (HVO från rapsolja) krävs mellan $1,3\% \cdot 0,143 = 0,002$ MJ/MJ torv och $1,3\% \cdot 1,54 = 0,02$ MJ/MJ torv. Inklusivt 1 MJ torv blir resultat PEF 1,002-1,02 MJ/MJ torv. Primärenergifaktorn inkluderar ej energiåtgång för återställning av marken vid efterbehandling.



Figur 2: Tillförda och undvikta utsläpp av växthusgaser uttryckt i CO₂-ekvivalenter per MJ torv till följd av upptag och förbränning av torv. Negativa värden innebär upptag av växthusgaser eller undvikta utsläpp och består av undvikta markutsläpp som annars skett av att torvmarker läcker växthusgaser och genom upptag i växande skog efter att torven har skördats. Positiva värden innebär utsläpp av växthusgaser genom skörd och förbränning av torv samt undvikta upptag i växande skog under tiden torvbrytningen pågår och eventuella markutsläpp då kvarvarande torv oxiderar.

4.2 Kompensationsåtgärder

4.2.1 Klimatkompensation

Klimatkompensation är enligt ISO14021 (Svenska institutet för standarder, 2016) en "Mekanism för att kompensera för en produkts klimatavtryck (carbon footprint) genom förebyggande av utsläpp, minskning eller avlägsnande av motsvarande mängd utsläpp av växthusgaser i en process utanför produktsystemets gränser".

Klimatkompensation avser idag framförallt klimatåtgärder i utvecklingsländer såsom energieffektivisering, utveckling av ren och förnybar energi, trädplantering och bevarande av skog men kan också omfatta inköp och makulering av utsläppsätter (exempelvis från EU-ETS). I det senare fallet består klimatnyttan i att man minskar möjligheten att släppa ut samma mängd växthusgaser från de verksamheter som ingår i EU-ETS.

Det har funnits en marknad för frivillig klimatkompensation i över tio år och den växer kontinuerligt. Principen bygger på att de som vill klimatkompensera köper någon typ av certifikat för undvikna utsläpp eller ökade upptag. En positiv aspekt av frivillig klimatkompensation är att den kan komma åt utsläpp som inte omfattas av nationella klimatpolitiska åtgärder i dag. I praktiken innebär det att klimatkompensationsprojekt kan genomföras i sektorer som inte redan täcks av mål i den nationella klimatplanen, till exempel inhemska åtgärder som återvätning och beskogning.

En grundförutsättning för att en åtgärd ska kunna räknas som klimatkompensation är att den är additionell, dvs. att åtgärden inte hade kommit till stånd utan det genomförda projektet.

Det finns flera exempel på projekt för klimatkompensation genom återvätning i andra europeiska länder⁴. Det handlar i dessa fall framförallt om redan dränerade torvmarker som utnyttjats för exempelvis jordbruk och som kan återvätas i sin helhet. Mark som kan komma ifråga är marker som inte längre beviljas stöd inom ramen för EU:s gemensamma jordbrukspolitik. Köparna av denna klimatkompensation är framförallt lokala aktörer som vill kompensera sina egna utsläpp och principen är att betalning för åtgärden sker när utsläppsreduktionen skett (i princip när åtgärden är utförd), så kallat resultatbaserad finansiering. Utsläppsreduktionen beräknas enligt schabloner baserat på typiska utsläpp för

⁴ MoorFutures (Tyskland), Peatland Code (England), Max.Moor (Schweiz), Peatland retirement under RDP (Danmark), Green Deal (Nederländerna)

specifika marktyster med olika närings- och dräneringsstatus men komplexiteten i systemen varierar beroende på aktuell kunskap i de olika länderna.

Ett liknande system skulle kunna vara intressant i Sverige. Inom ramen för den Klimatpolitiska vägvalsutredningen (Statens offentliga utredning, 2020) (SOU 2020:4) togs ett underlag fram som pekar på att det finns mer än 50 000 ha organogen mark som tidigare nyttjades för jordbruksproduktion men som tagits ur bruk och som skulle kunna vara lämplig för åtgärden återvätning (Berglund & Eklöf, 2019). Klimatpolitiska vägvalsutredningens förslag är att återvätningen ska finansieras av pengar ur landsbygdsprogrammet och andra statliga medel.

4.2.2 Kompensation av utsläpp från produktion och förbränning av energitorv

Med utgångspunkt i de framräknade utsläppen för produktion och förbränning av energitorv i 4.1 har möjligheten att kompensera dessa utsläpp genom olika åtgärder för att minska utsläpp från dränerad torvmark eller öka upptag i biomassa analyserats. Kompensationsåtgärderna som beskrivs här kan förstås tillämpas för vilka utsläpp som helst. Jämförelsen är framförallt inriktad på att undersöka kompensationsbehovet på arealbasis, dvs. hur många ha av en kompensationsåtgärd som behövs för att kompensera utsläpp för produktion av torv på en ha.

Huvudsakligen analyseras återvätning av dikade torvmarker och beskogning. Såväl den absoluta förändringen i växthusgasutsläpp per ha för de ingående åtgärderna som det arealbehov som behövs för att kompensera för de växthusgasutsläpp som i ett livscykelperspektiv uppstår vid skörd och användning av energitorv redovisas. Det är viktigt att hålla isär den efterbehandling som sker vid avslutad torvtäkt (som anpassas efter den skördade torvmarkens geografiska läge och markägarnas önskemål samt de naturmässiga omständigheterna) från de åtgärder som presenteras här som oberoende kompensationsåtgärder.

Underlaget kan ligga till grund för fortsatt diskussion om dessa åtgärder ska kunna användas som frivillig klimatkompensation för produktion och användning av energitorv.

4.2.2.1 Förutsättningar och antaganden

Utgångspunkten är att jämföra växthusgasutsläpp för olika typmarker och markanvändning för att studera effekten på växthusgasutsläppen av att markanvändningen ställs om genom olika åtgärder. De kompensationsåtgärder som inkluderas i analysen är återvätning av dränerad torvmark och beskogning. Utsläppen beräknas som mängd växthusgasutsläpp eller upptag av koldioxid per

arealenhet och år för att relevanta jämförelser ska kunna göras med utsläppen från produktion och förbränning av energitorv (se kapitel 4.1).

När det gäller återvätning avses dels restaurering av torvmarken till våtmarksliknande förhållanden, det vill säga ett tillstånd där vattenytan ligger nära markytan, dels restaurering av torvmarken till en sjö. Detta ska ses som två typexempel för att illustrera ytterligheterna när det gäller vad som kan åstadkommas genom återvätning. I själva verket kan en restaurering med syfte att skapa sjöliknande förhållanden på sikt utvecklas till en våtmark. För beskogning som kompensationsåtgärd antas två alternativ som motsvarar en hög och en låg bonitet.

För att analysera effekten av olika kompensationsåtgärder används generella utsläppsfaktorer för skogbevuxen dränerad torvmark, icke skogbevuxen dränerad torvmark respektive jordbruksmark på dränerad torvjord, dvs. de marker som kan komma att tas i anspråk för de kompensationsåtgärder som analyseras här. Dessutom delas skogsmarken in i näringsrik och näringsfattig mark samt väl-dränerad och sämre dränerad mark. De olika alternativ som används i analysen bedöms fånga in det spann av olika typer av dränerad torvmark som kan komma ifråga för åtgärder. Ofta handlar det om gamla övergivna myrodlingar, dvs. myrar och andra våtmarker som torrlagts och röjts från buskar och träd för jordbruks- och skogsproduktion och som inte längre används men även skogs- och jordbruksmark i bruk skulle kunna komma ifråga för återvätning.

För att beräkna effekten av en åtgärd inkluderas växthusgasbalansen för referensen och för åtgärdsalternativet. Således ingår utsläppen av växthusgaserna koldioxid (CO₂), lustgas (N₂O) och metan (CH₄) från dränerad torvmark och upptag i växande skog och mark (efter beskogning) enligt följande:

$$GHG_{\text{referens}} = GHG_{\text{torvmark}}(\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}) + GHG_{\text{biomassa}}$$

$$GHG_{\text{åtgärd}} = GHG_{\text{torvmark}}(\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}) + GHG_{\text{biomassa}}(\text{CO}_2) + GHG_{\text{mark}}(\text{CO}_2)$$

De växthusgasutsläpp som beskrivs i 4.1 används som riktmärke för att skatta den areal som behöver åtgärdas för att kompensera för de växthusgasutsläpp som i ett livscykelperspektiv uppstår vid produktion och förbränning av energitorv. En jämförelse görs också där enbart utsläppen i samband med förbränning tas med.

Redovisning av utsläpp från återvätning har hittills inte inkluderats i Sveriges klimatrapportering eftersom rapporteringen ännu är frivillig och också på grund av att aktiviteten är relativt sällsynt i Sverige som åtgärd för att minska klimatpåverkan. Den databas med information om anlagda våtmarker som idag upprätthålls av SMHI innehåller en hel del information men bland annat saknas information om tidigare markanvändning och marktyp (i.e. jordart) vilket behövs

för att skatta utsläppen. Sådan information finns dock på annat håll (bland annat marktäckedata och jordartskartan) så på sikt kan ett bättre underlag skapas som kan användas för att beräkna nationella utsläpp från återvätning av dränerad organogen mark.

Utsläppsfaktorerna baseras på samma underlag som klimatrapporteringen använder för utsläpp från dränerad mark (IPCC, 2013). Eftersom osäkerheterna är stora har vi i detta projekt valt att använda ett medelvärde för boreala och tempererade områden för näringsrik respektive näringsfattig torvmark. Inom ramen för detta projekt har det inte funnits utrymme för någon större litteraturgenomgång men några nedslag i den litteratur som presenterats på senare år visar att variationen i utsläpp eller upptag från torvmark som återväts är stor.

Vi bedömer dock att de faktorer som används i denna rapport åtminstone ger en indikation på effekten av återvätningen, dvs. i vilken riktning och storleksordning utsläppen utvecklas. Utsläppen beror, förutom på klimat- och näringsstatus, även på förutsättningarna vad gäller vegetation och markanvändning (till exempel hur hårt marken brukats för torvskörd) (Karki, et al., 2019), (Renou-Wilson, et al., 2019), (Jordan, et al., 2016), (Lee, et al., 2017).

När det gäller upptag i biomassa och mark har vi här använt simuleringar av två typbestånd av gran med olika bonitet (Lindholm et al. 2011) och som representerar ståndortsindex⁵ (G20 som motsvarar en svagare mark och G32 som motsvarar en bördigare). Eftersom upptaget i biomassa varierar över en omloppstid presenterar vi värden för den genomsnittliga årliga inlagringen de första 25 åren efter att skogen planteras samt för hela omloppstiden. Omloppstiden varierar beroende på ståndortsindex vilket anges i Tabell 11.

De utsläppsfaktorer som används för att skatta effekten av kompensationsåtgärder sammanfattas i Tabell 11.

⁵ anger produktionsförmåga som trädhöjd vid beståndsålder 100 år

Tabell 11: Utsläppsfaktorer för marker som kan utnyttjas för åtgärder och för marker som åtgärdats som används i denna studie. Negativa värden avser ett upptag av koldioxid från atmosfären.

			CO ₂ (ton/ha/år)	N ₂ O (ton/ha/år)	CH ₄ (ton/ha/år)	GHG (ton CO ₂ ekv./ha/år)
Referensmark (utsläpp och upptag före åtgärd)						
Skogsmark ¹	Rik		6,05	0,0048	0,008	7,67
	Fattig		2,45	0,0003	0,048	3,73
Jordbruksmark ¹			22,88	0,02	0,058	30,43
Åtgärder (utsläpp efter utförd åtgärd)						
Återvätning av dränerad torvmark ²	Våtmark	Rik	-0,092	0	0,24	5,8
		Fattig	-1,045	0	0,089	1,18
	Sjö		0	0	0	0
Beskogning, upptag i biomassa och markkol ³	25 år	G32	-8,56			-8,56
		G20	-1,66			-1,66
		Omloppstid	G32	-9,98		
		G20	-5,23			-5,23

- (1) Lundblad (2016), väl-dränerad näringsrik och sämre dränerad näringsfattig skogsmark samt jordbruksmark
- (2) Genomsnitt av värden för boreal och tempererade områden från Lindgren och Lundblad (2014) som baseras på IPCC (2014) även presenterade av Wilson et al (2016)
- (3) Simulering av biomassa och markkol från Lindholm et al (2011)

I analogi med befintliga system för klimatkompensation där en utsläppsreduktion ersätter det faktiska utsläppet som ska kompenseras kan vi välja att räkna på det årliga utsläppet, till exempel utsläpp från skörd, distribution och användning av torv motsvarande 1 MJ eller utsläppen för ett års skörd av energitorv på en ha torvmark. Det handlar egentligen bara om att kompensera ett utsläpp med motsvarande utsläppsminskning eller upptag uttryckt i mängd växthusgaser.

När det gäller klimatkompensation generellt är storleken på den areal som behöver tas i anspråk för att åstadkomma en utsläppsreduktion eller hur stora utsläppen är per producerad mängd energi avgörande för åtgärdens kostnadseffektivitet. För åtgärden återvätning kan effekten antas vara ganska direkt, det vill säga att utsläppsreduktionen inträffar relativt omgående efter att åtgärden utförts. Hur lång tid det tar från det att åtgärden påbörjas tills dessa att ett nytt utsläppstillstånd inträder varierar beroende på förutsättningarna för det aktuella objektet. Det är naturligtvis stor skillnad på att återväta en urgrävd torvtäkt eller att återväta en åker. I båda fallen avgör den omgivande topografi i vilken utsträckning återvätningen påverkar hydrologin. När det gäller beskogning tar det ett antal år innan åtgärden får reell effekt på utsläppen och då kan det vara rimligare att studera ett längre tidsperspektiv och använda årliga medelvärden för hela den period som torv skördas eller medelvärden för en omloppstid. Därför har i Tabell 11 angetts

upptag i biomassa och mark både över en 25 årsperiod men även över en omloppstid.

En 25-årsperiod har valts utifrån förutsättningen att en torvtäkt nyttjas tills all torv är skördad räkneexemplet i avsnitt 4) antas torv skördas i 23 år, dessförinnan förbereds marken i två år. Det är också intressant med ett 25-årsperspektiv med anledning av målet om att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser 2045 vilket i detta sammanhang skulle kunna jämföras med att alla utsläpp från skörd och användning av torv ska kompenseras inom denna tidsrymd. Det är relativt enkelt att skala upp eller ner resultaten motsvarande en grundare eller mäktigare torvtäkt vilket innebär en kortare eller längre tid för utnyttjande av tälkten samtidigt som de genomsnittliga årliga värdena för perioden då tälkten nyttjas blir nästintill identiska.

I analysen antas att kompensationsåtgärden utförs samtidigt som skörd av torv sker, det vill säga på annan plats, vilket innebär att utsläppen och upptagen sker samtidigt. Det innebär att utsläpp från skörd och användande av torv ställs mot kompenserande upptag eller minskade utsläpp momentant. Det finns exempel där efterbehandling genom återvätning sker succesivt direkt på den plats där torvtäkt sker (beskrivs i 4.1.2).

4.2.3 Resultat och diskussion

Utgående från de antaganden om utsläpp före och efter återvätning som presenteras i Tabell 11 varierar effekten av återvätning mellan en minskning med drygt 30 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år om jordbruksmark återväts till sjöliknande förhållanden (utsläppen går från 30,4 till 0 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år genom åtgärden) och en ökning av utsläppen med drygt 7 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år om beskogad näringsrik torvmark med skog återväts till våtmarksliknande förhållanden (Tabell 12).

Det innebär i praktiken att med de antaganden som görs om utsläppen för mark som åtgärdas är det mest gynnsamt för klimatet att återväta jordbruksmark på torvjord. Att återväta beskogad näringsrik torvmark är det sämsta alternativet av de som analyserats här.

I det förstnämnda fallet räknas bara effekten av att markemissionerna minskar medan det för den beskogade marken också tas hänsyn till att inlagringen av kol i biomassa upphör, i detta fall den genomsnittliga inlagringen för en hel omloppstid. När det gäller effekten av ingen eller minskad inlagring i biomassa ska detta dock ses som ett sämsta fall, det finns naturligtvis möjlighet att fortsätta med någon form av skogsproduktion även efter återvätning. Det finns flera trädslag som klarar

blötare förhållanden, till exempel glasbjörk, al och gran. Om gran ersätter gran bör hänsyn dock tas till att tillväxten troligen blir sämre än när marken var dränerad.

Val av trädslag påverkar också utfallet för beskogningsåtgärder. Här anges exempel för beskogning med gran för två olika boniteter. Effekten av beskogning kan bli både högre men också lägre beroende på trädslagsval och förutsättningarna på den aktuella platsen där beskogningen sker.

Effekten av åtgärder som anges i Tabell 12 är storleksmässigt i linje med de åtgärder som presenterades i Klimatpolitiska vägvalsutredningens rapport (SOU 2020:4). Skillnaderna i effekten av återvätning härrör från att man i SOU 2020:4 utgått från de utsläppsfaktorer som används för dränerad torvmark i klimatrapporeringen (som är högre). I Klimatpolitiska vägvalsutredningen är effekten av återvätning beräknad till 1 – 21 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år. Beskogning exemplifieras i SOU 2020:4 med beskogning med gran i tre regioner och den genomsnittliga inlagringen är för en omloppstid är generellt högre (8,3 till 12,9 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år) än de siffror som anges i Tabell 12. Skillnader beror på hur utsläpp från mark påverkar utsläppsutvecklingen (tidigare markanvändning) men också förutsättningar för tillväxten som varierar stort för olika växtplatser.

Tabell 12: Effekt av åtgärder på olika marktyper. Positiva värden innebär ökade utsläpp och negativa värden innebär en minskning av utsläppen. Kolumnen för 25 år respektive 100 år avspeglar effekten av beskogning respektive minskad inlagring för 25 år respektive en hel omloppstid

Marktyp	Åtgärd	Effekt av åtgärder	
		ton CO ₂ -eq/ha/ år	
		25 år	Omloppstid
Näringsrik skogsmark med skog	Våtmark	6,7	8,1
	Sjö	0,9	2,3
Näringsrik torvmark utan skog	Våtmark	-1,9	-1,9
	Sjö	-7,7	-7,7
Näringsfattig skogsmark med skog	Våtmark	-0,9	2,7
	Sjö	-2,1	1,5
Näringsfattig torvmark utan skog	Våtmark	-2,5	-2,5
	Sjö	-3,7	-3,7
Jordbruksmark	Våtmark	-24,6	-24,6
	Sjö	-30,4	-30,4
	Beskogning, bördig	-8,6	-10,0
	Beskogning, fattig	-1,7	-5,2

När det gäller klimatkompensation så avses att ett utsläpp från den verksamhet som ska kompenseras regleras med en skattad utsläppsminskning från det projekt som ska bidra med reduktionen eller det ökade upptaget. Antingen är det en redan utförd åtgärd för utsläppsminskning eller en åtgärd för minskade utsläpp (eller

ökade upptag) som genomförs parallellt med att utsläppen sker. För återvätning som är en åtgärd där effekten är relativt omedelbar fungerar då jämförelsen väl för 25 årsperspektivet, det vill säga de genomsnittliga utsläppen för perioden när torven skördas och används.

För beskningsprojekt avses vid klimatkompensation normalt den genomsnittliga inlagringen för en omloppstid. I vårt exempel bör då de årliga utsläppen från verksamheten (produktion och användning av energitorv) ställas mot den genomsnittliga inlagringen över en omloppstid. Då blir arealbehovet lägre än om man bara tillgodoräknas den genomsnittliga inlagringen för de första 25 åren efter beskningsåtgärden. Det gäller särskilt skogsplantering på näringsfattiga torvmarker. Vi tar här inte hänsyn till användningen av biomassa när den beskogade marken avverkas vilket kan diskuteras vad gäller åtgärdens permanens. Samtidigt tar vi inte heller hänsyn till att den producerade biomassa också kan substituera fossila alternativ, vilket ökar nyttan med åtgärden ytterligare. Förutsättningen är också att marken återbeskogas.

Utsläppen per ha för förbränning av energitorv är ur ett 25-årsperspektiv (den tid som torven skördas och används) 167 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år och 42 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år i ett 100-årsperspektiv. Om ett livscykelperspektiv, där såväl utsläpp i samband med produktion och utsläpp som skulle skett från den dränerade marken oavsett om torv skördas räknas med (se 4.1) hamnar utsläppen mellan 174 och 182 ton CO₂-ekvivalenter per ha och år (utgår från Tabell 8) i 25-årsperspektivet och mellan 37 och 44 ton CO₂-ekvivalenter i 100-årsperspektivet där den lägre siffran avser skörd av torv på näringsfattig skogsmark och den högre skörd av torv på näringsrik skogsmark. Det är samma tre alternativ för torvproduktion (näringsrik och näringsfattig skogsmark med skogs och näringsrik skogsmark utan skog) som jämförs nedan.

Den åtgärdsareal som behövs för att kompensera årliga utsläpp för produktion och användning av energitorv producerad på en ha med de åtgärder som ger en positiv effekt på de totala växthusgasutsläppen (det vill säga negativa värden i Tabell 12) redovisas i Tabell 13. Arealen som behövs för att balansera utsläppen varierar stort. Återvätning av organogen jordbruksmark till sjöliknande förhållanden är den mest effektiva åtgärden av de som analyseras i detta avsnitt.

Förbränning av torv från en ha givet de förutsättningar som anges i Tabell 9 skulle kunna kompenseras genom återvätning till sjöliknande förhållanden av närmare 6 ha jordbruksmark räknat i ett 25-årsperspektiv. I ett 100-årsperspektiv behövs drygt 1 ha. Näst bäst är återvätning av jordbruksmark till våtmarksliknande förhållanden. Beskoning av jordbruksmark (räknat med hög bonitet) är också relativt effektivt ur ett arealperspektiv, för kompensation i ett 25-årsperspektiv behövs 20 ha och i ett 100-årsperspektiv 4 ha.

Ur ett kostnadsperspektiv är sannolikt beskogning det mest intressanta alternativet eftersom åtgärden är lönsam för markägaren. När det gäller återvätning krävs förutom kostnader för själva åtgärden, dvs. om diken behöver läggas igen och om vallar behöver byggas, också ersättning för förlorat markvärde (se resonemang nedan) och skötsel av fördämningen så att vattennivån hålls på en nivå som inte i stället ger ökade utsläpp av metan. Även kostnader för tillstånd enligt Miljöbalken kan tillkomma beroende på objektets storlek.

Om alla utsläpp ur ett livscykelperspektiv enligt Tabell 9 och Tabell 10 inkluderas blir arealbehovet i 25-årsperspektivet närmast identiskt med om endast förbränningsutsläppen inkluderas. I ett 100-årsperspektiv krävs en något mindre areal om endast förbränningsutsläppen inkluderas (se Tabell 13).

Tabell 13: Åtgärdseffekt för olika kompensationsåtgärder i förhållande till utsläpp från produktion användning av torv för olika torvmarkstyper i ett 25-årsperspektiv och ett 100-årsperspektiv per ha och år samt i förhållande till livscykelutsläppen enligt 4.1. (-) markerar att alternativet ledde till ökade utsläpp enligt Tabell 12.

Marktyp för produktion av torv	Kompensation	Areal som behövs för att kompensera utsläpp från torvproduktion på en ha			
		Bara förbränning		Livscykelperspektiv	
		25 år	100 år	25 år	100 år
Näringsrik skogsmark med skog					
Våtmark	-	-	-	-	-
Sjö	-	-	-	-	-
Återvätning av jordbruksmark	7	2	7	2	
Sjö på jordbruksmark	6	1,4	6	1,4	
Beskogning av jordbruksmark	20 - 101	4 - 8	21-110	4-8	
Näringsrik torvmark utan skog					
Våtmark	89	22	93	20	
Sjö	22	5	23	5	
Återvätning av jordbruksmark	6,8	1,7	7,1	1,5	

Sjö på jordbruksmark	5,5	1,4	5,7	1,2
Beskogning av jordbruksmark	20–101	4–8	20–105	4–7
Näringsfattig skogsmark med skog				
Våtmark	190		206	
Sjö	81		88	
Återvätning av jordbruksmark	6,8	1,7	7,4	1,8
Sjö på jordbruksmark	5,5	1,4	6,0	1,5
Beskogning av jordbruksmark	20–101	4–8	21–109	4–8

Klimatkompensation avser direkta utsläpp av växthusgaser. I exemplet ovan har åtgärdsarealen relaterats till den utnyttjade arealen för produktion av torv men det kan också vara intressant att relatera åtgärdsarealen till utsläppen per MJ torv. Antingen inkluderas då enbart utsläppen i samband med förbränningen, dvs. de som redovisas i utsläppsinventeringen eller också inkluderas även utsläppen från skörd. Enligt Sveriges klimatrapporering genererar förbränning av 1 TJ torv utsläpp på 105,2 ton CO₂, 11 kg CH₄ och 5 kg N₂O vilket blir 107,0 ton CO₂-ekvivalenter per TJ torv (motsvarar g per MJ).

Om även utsläpp från produktionskedjan inkluderas blir utsläppet 115,9 ton CO₂-ekvivalenter per TJ torv (eller g per MJ). För att kompensera utsläppen för en TJ energitorv vid förbränning, genom ovan redovisade åtgärdsexempel, behövs i ett 25-årsperspektiv 3,5 ha återvätad jordbruksmark (sjö) eller minst 12,5 ha beskogad bördig jordbruksmark. I ett 100-årsperspektiv blir beskogningsbehovet något lägre (knappt 11 ha per TJ) medan återvättningsbehovet är detsamma. Om även produktionsutsläppen för energitorven tas med rör det sig om 3,8 (återvätning till sjö) respektive 12 ha (beskogning).

4.2.4 Utsläppsrätter och reduktionsenheter från inhemska projekt

EU-kommissionen får anta åtgärder för utfärdande av utsläppsrätter eller reduktionsenheter för projekt som förvaltas av medlemsstaterna och som leder till

minskade växthusgasutsläpp som inte omfattas av EU:s utsläppshandelssystem. Detta skulle kunna inkludera återvätning och beskogning i Sverige. Förutsättningen är dock att ingen dubbelräkning sker, dvs. att om effekten av åtgärderna räknas med i Sveriges mål om att inte ha några nettoutsläpp i LULUCF-sektorn så kan de inte räknas med någon annanstans, till exempel av en verksamhetsutövare inom EU-ETS.

I och med den nya LULUCF-förordningen räknas alla förändringar i upptag och utsläpp med när avräkning mot målet i förordningen sker. LULUCF-förordningen omfattar alla territoriella utsläpp och upptag på skogsmark, åkermark, betesmark, våtmark och bebyggd mark. För Sveriges del kommer t.ex. återvätning av jordbruksmark räknas med under bokföringskategorin Brukad åkermark som bokförs som skillnaden i upptag eller utsläpp mellan basperioden 2005–2009 och åtagandeperioderna 2021 - 2025 respektive 2026 - 2030. Beskogning, oavsett vilken mark som beskogas (utom föryngring av befintlig skogsmark), räknas in under bokföringskategori Beskogad mark.

Det innebär att inga undantag kan göras så att utsläppsrätter och reduktionsenheter kan erbjudas för återvätning och beskogning i Sverige.

När det gäller klimatkompensation så är den på aktörsnivå artificiell i det avseendet att det inte handlar om verklig utsläppsbokföring och nyttjande av utsläppsrätter och reduktionsenheter. En verksamhetsutövare kan finansiera projekt såsom återvätning och ta med effekten i sin beskrivning av verksamhetens klimatpåverkan så länge det framgår att effekten också kan komma med i Sveriges utsläppsredovisning och bokföring.

5 Rökgaskondensering

Rökgaser som uppstår vid förbränning innehåller vattenånga vars värmeenergi kan tas tillvara genom kondensering. Rökgaskondensering används till exempel vid förbränning av blöta bränslen i kraftvärmeverk där värmen från kondenseringen kan utnyttjas i ett fjärrvärmenät. I denna rapport kommer inga emissionsfaktorer eller primärenergianvändning för rökgaskondensering att presenteras utan ett resonemang kring tänkbara synsätt för miljövärdering av rökgaskondensering kommer att föras.

Primärenergianvändning och emissionsfaktor för energi från spillflöden kan enligt ett synsätt vara noll. Då huvudprodukten från processen som genererar ett spillflöde belastas med den totala energiåtgången och utsläppen som processen orsakar. Energi från spillflöden definieras enligt detta synsätt som energi från processer som inte har någon alternativ användning. I Miljöfaktaboken 2011 (Gode,

et al., 2011) anses till exempel industriell spillvärme ha en emissionsfaktor och primärenergifaktor som är noll. Detta synsätt på industriell spillvärme används också av Värmemarknadskommittén (VMK) (Värmemarknadskommittén, 2019). VMK likställer även rökgaskondensering med spillvärme och belastar inte rökgaskondenseringen med några utsläpp.

Energiåtervinning av avfall genom förbränning beskrivs i VMK:s överenskommelse också som restenergi. Men på grund av den fossila delen av avfallet tilldelas avfallet emissioner vid förbränning baserat på Naturvårdsverkets schablon som bygger på mätningar från de sju största avfallsförbränningsanläggningarna i Sverige.

I miljöcertifieringen av byggnader Miljöbyggnad 3 som SGBC utfärdar beskrivs indikator 4 "Andel förnybar energi" ha syftet att "premiera byggnader som i stor utsträckning använder och efterfrågar och tillför energi med förnybart ursprung". Fokus i indikator 4 är ursprunget till energin där till exempel spillvärme går in under kategori 1 "förnybar flödande energi". Rökgaskondensering i Miljöbyggnad 3 klassas inte som spillvärme utan fördelas enligt bränslet som gav upphov till rökgaskondenseringens ursprung. I fallet för avfallsförbränning innebär detta att energin från rökgaskondenseringen fördelas enligt den fossila och biogena andelen i avfallet.

I National Inventory Report 2020 (Naturvårdsverket, 2019) uppges fördelningen mellan fossil koldioxid och biogen koldioxid i rökgaserna från avfallsförbränning vara 37,51% respektive 62,49%. Mätningarna som Naturvårdsverkets data (Naturvårdsverket, 2019) är baserade på beror av avfallets sammansättning. Hur mycket energi som sedan utvinns ur avfallet, det vill säga verkningsgraden på anläggningen, påverkar inte fördelningen mellan fossilt och biogent eller mängderna utsläpp. Att en anläggning då har en högre verkningsgrad, till exempel genom rökgaskondensering, innebär mer producerad värme och el på samma mängd utsläpp eftersom utsläppen baseras på mängd bränsle.

I en LCA brukar förbränningen, inklusive rökgaskondensering, betraktas som en enhetsprocess. Det betyder att energin från rökgaskondenseringen belastas med lika stora emissioner som övrig energi från förbränningen. Vår analys här är mer detaljerad, i och med att vi diskuterar rökgaskondenseringen som en egen process. I denna analys har vi identifierat två olika synsätt för miljövärdering av rökgaskondensering, beroende på om man har ett bokförings- eller konsekvensperspektiv. Med utgångspunkt i ett bokföringsperspektiv ställer man sig frågan "Var kommer energin ifrån?". Med utgångspunkt i ett konsekvensperspektiv frågar man sig istället "Vad får ett beslut för konsekvenser?".

5.1 Bokföringsperspektivet

I ett bokföringsperspektiv fokuserar man på ursprunget till energin som utvinns med hjälp av rökgaskondensering. Frågan man ställer sig då blir *”Hur mycket av värmen som tas omhand i rökgaskondenseringen har biogent respektive fossilt ursprung?”*. Avfallets biogena del består i huvudsak av matavfall, papper och trä och innehåller relativt mycket vatten (blött material). Avfallets fossila del består i huvudsak av plast, syntettextil och gummi. Både det biogena och fossila materialet innehåller väte som vid förbränning bildar vatten. Större delen av vattenången i rökgaserna från förbränning kommer troligt från den biogena delen, men den fossila delen kommer ändå att stå för en andel. Termiskt är det bränslet som förbränns som förångar vattnet och därmed möjliggör rökgaskondenseringen. Genom att räkna på vad det ingående materialet består av och genom att man vet energiinnehållet i olika avfall kan energin som utvinns ur rökgaskondenseringen fördelas baserat på en biogen och en fossil del. Förutom att fördela den utvunna kondenseringsenergin efter energiinnehåll, kan det alternativt också fördelas efter mängd fossilt och biogent kol, eller efter vatteninnehållet i respektive del.

5.2 Konsekvensperspektivet

Ett konsekvensperspektiv utgår ifrån de konsekvenser som uppstår till följd av ett beslut. Rökgaserna som bildas vid förbränning uppkommer oavsett om energin sedan tas tillvara på genom rökgaskondensering eller inte. Det kan likställas med industriell spillvärme som inte har någon alternativ användning. Att ta tillvara energin genom rökgaskondensering möjliggör att mer energi kan utvinnas ur samma mängd insatt bränsle. Räknat på det effektiva värmevärdet kan då verkningsgrader på över 100% förekomma. En beräkningsmetod som missgynnar rökgaskondenseringen styr därför åt fel håll, sett ur ett resurseffektivitetsperspektiv. Enligt detta perspektiv borde rökgaskondensering uppmuntras och ett sätt att göra detta är att se energin från rökgaskondenseringen som energi från ett spillflöde som inte belastas av sitt ursprung.

Referenser

- Berglund, Ö. & Eklöf, T., 2019. *Övergivna torvjordar i mellansverige- Rapport till Naturvårdsverket.*, Uppsala: Sverige Lantbruksuniversitet.
- Börjesson, P. o.a., 2016. *Methane as vehicle fuel- a well-to-wheel analysis (METDRIV)*, u.o.: The Swedish knowledge centre for renewable transportation fuels (f3).
- Börjesson, P., Tufvesson, L. & Lantz, M., 2010. Livscykelanalys av svenska biodrivmedel. Energigas Sverige, 2017. *Vad är biogas?*. [Online]
Available at: <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/vad-aer-biogas/>
[Använd 05 06 2020].
- Energimyndigheten, 2019. *Drivmedel 2018*, u.o.: Statens energimyndighet.
- Energimyndigheten, 2019. *Energitillförsel 2018*, u.o.: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten, 2019. *Produktion och användning av biogas och rötresten år 2018*, u.o.: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten, 2020. *Statistikdatabas- energyvarubalans*, u.o.: u.n.
- Energimyndigheten, 2020. *Vägledning till regelverket om hållbarhetskriterier för biodrivmedel Version 4.0*, u.o.: Energimyndigheten.
- Gode, J. o.a., 2011. *Miljöfaktboken 2011- Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*, u.o.: u.n.
- Gramoflor, 2020. *Peat extraction in the upper and subfield process*. [Online]
Available at: <https://gramoflor.com/englisch/main-topics/peat-und-mire-protection/upper-and-subfield-process.html>
[Använd 05 06 2020].
- Hagberg, L. & Holmgren, K., 2008. The climate impact of future energy peat production.
- Hallberg, L. o.a., 2013. *Well-to-wheel LCI data for fossil and renewable fuels on the Swedish market*, u.o.: The Swedish knowledge centre for renewable transportation fuels (f3).
- Jordan, S. o.a., 2016. Ecosystem respiration, methane and nitrous oxide fluxes from ecotopes in a rewetted extracted peatland in Sweden. *Mires and peat*, Volym 17, pp. 1-23.
- Karki, S. o.a., 2019. Annual CO₂ fluxes from a cultivated fen with perennial grasses during two initial years of rewetting. *Mires and Peat*, Volym 25, pp. 1-2.
- Kasimir, Å., He, H., Coria, J. & Nordén, A., 2018. Land use of drained peatlands: Greenhouse gas fluxes, plant production and economics. *Global change biology*, 24(8), pp. 3302-3316.
- Källmén, A., Andersson, S. & Rydberg, T., 2019. *Well-to-wheel LCI data for HVO fuels on the Swedish market*, u.o.: u.n.
- Lantz, M., Ekman, A. & Börjesson, P., 2009. Systemoptimerad produktion av fordonsgas- En miljö- och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning.
- Lee, S.-C.o.a., 2017. Annual greenhouse gas budget for a bog ecosystem undergoing restoration by rewetting. *Biogeosciences*, Volym 14, pp. 2799-2814.
- Lindgren, A. & Lundblad, M., 2014. *Towards new reporting of drained organic soils under the UNFCCC- assessment of emission factors and areas in Sweden*, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Lundblad, M., Stendahl, J., Lundin, L. & Olsson, M., 2016. Den svenska torvutvinningens klimatpåverkan.
- Maljanen, M., Liimatainen, Hytönen, J. & Martikainen, P., 2014. The effects of granulated wood-ash fertilization on soil properties and greenhouse gas (GHG) emissions in boreal peatland forest. *Boreal environment*, Volym 19, pp. 259-309.
- Myhre, G. o.a., 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

- Naturskyddsföreningen, 2013. *Värmenergi Kriterier 2013:2 Bra Miljöval*, u.o.: Naturskyddsföreningen.
- Naturvårdsverket, 2019. *Emissioner och värmevärden 2020*, u.o.: u.n.
- Naturvårdsverket, 2019. *National Inventory Report Sweden 2020: Annexes*, u.o.: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket, 2020. *Koldioxidekvivalenter*. [Online]
Available at: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/>
[Använd 30 05 2020].
- Palm, D. & Ek, M., 2010. *Livscykelanalys av biogas från avloppsreningsverksslam*, u.o.: Svenskt Gastekniskt Center AB.
- PROFU, 2018. *Klimatpåverkan från energitorv ur ett systemperspektiv*, u.o.: PROFU.
- Renou-Wilson, F. o.a., 2019. Rewetting degraded peatlands for climate and biodiversity benefits: Results from two raised bogs. *Ecological Engineering*, Volym 127, pp. 547-560.
- Rydegran, E., 2020. *Ny biooljeskatt ytterligare en käftsmäll mot fjärrvärmens*. [Online]
Available at: <https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2020/april/ny-biooljeskatt-ytterligare-en-kaftsmall-mot-fjarrvarmen/>
[Använd 03 06 2020].
- Salm, J. o.a., 2012. Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia. *Hydrobiologia*, 692(1), pp. 1-15.
- Sander Nielsen, B., 2020. *Biogassystemet i Danmark- styrmedel, produktion och användning*, Lund: Foreningen Biogasbranschen.
- Solör Bioenergi AB, Mölnlycke, 2019. *Miljörapport: Emissionsmätning- Mätning av emissioner till luft vid Solör Bioenergi AB, Mölnlycke*, u.o.: u.n.
- SPBI, 2019. *Energiinnehåll, densitet och koldioxidutsläpp*. [Online]
Available at: <https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/berakningsfaktorer/energiinnehall-densitet-och-koldioxidemission/>
[Använd 08 05 2020].
- Statens offentliga utredning, 2020. *Vägen till en klimatpositiv framtid. Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen*, Stockholm: u.n.
- Svebio, 2020. *Färdplan Bioenergi- så möter vi behovet av bioenergi för fossilfritt Sverige*, u.o.: Svebio.
- Svensk Torv, 2020. [Online]
[Använd 08 05 2020].
- Svenska institutet för standarder, 2016. *SS-ISO 14021*, u.o.: u.n.
- Tufvesson, L., Lantz, M. & Björnsson, L., 2013. Miljönytta och samhällsekonomiskt värde vid produktion av biogas från gödsel.
- Väisänen, S., Silvan, N., Ihalainen, A. & Soukka, R., 2013. Peat production in high-emission level peatlands- A key to reducing climatic impacts?. *Energy & Environment*, 24(5), pp. 757-778.
- Värmemarknadskommittén, 2019. *ÖVERENSKOMMELSE I VÄRMEMARKNADSKOMMITTÉN 2019*, u.o.: Värmemarknadskommittén.
- Zetterberg, L., 2016. *Granskning av torvens emissionfaktor i Värmemarknadskommitténs rekommendationer*, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Zetterberg, L. & Wråke, M., 2004. Climate impact from peat utilisation in Sweden. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Öhman, M. & Boman, C., 2018. *Peat as a co-combustion fuel/fuel additive to biomass for reduced ash related problems in heat and power generation plants – A state of the art report*, u.o.: Luleå University of Technology.



